UNIVERSITÉ DE GENÈVE — FACULTÉ DES SCIENCES
LABORATOIRE DE PHYSIQUE — PROFESSEUR : J. WEIGLE

CONTRIBUTION

À

L'ÉTUDE DES RAYONS β

PAR LA MÉTHODE DES SPECTRES MAGNÉTIQUES

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE
POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR

JEAN D'ESPINE
de Genève (Suisse).

THÈSE N° 896

1931

UNIVERSITÉ DE GENÈVE — FACULTÉ DES SCIENCES
LABORATOIRE DE PHYSIQUE — PROFESSEUR : J. WEIGLE

CONTRIBUTION

À

L'ÉTUDE DES RAYONS β

PAR LA MÉTHODE DES SPECTRES MAGNÉTIQUES

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE
POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR

JEAN D'ESPINE
de Genève (Suisse).

THÈSE N° 896

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

FACULTÉ DES SCIENCES

La Faculté des Sciences, sur le préavis de M. le Prof. J. WEIGLE, autorise l'impression de la thèse présentée par M. JEAN D'ESPINE, de Genève (Suisse), intitulée:

Contribution à l'étude des rayons β par la méthode des spectres magnétiques

sans exprimer d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 18 mars 1931.

Le Doyen:

EUGÈNE PITTARD.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Tirage à part des *Annales de Physique*.
X^e Série, Tome XVI, Juillet-Août 1931.

Le présent travail a été effectué à l'Institut du Radium, à Paris, sous la direction de Madame Curie.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543505_0078

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES RAYONS β PAR LA MÉTHODE DES SPECTRES MAGNÉTIQUES

Par Jean d'ESPINE.

INTRODUCTION

Le présent travail est une contribution à l'étude des rayons β émis par les corps radioactifs. On sait que les recherches sur ces rayons présentent un grand intérêt théorique par les hypothèses qu'elles suscitent sur la nature intime de la structure atomique et nucléaire.

Tandis que les rayons α sont émis avec une vitesse unique, au moins en première approximation (1), pour une transformation radioactive déterminée, une transformation du type β, caractérisée par l'expulsion d'un électron nucléaire, est accompagnée de l'émission de toute une série de rayons β, animés de vitesses variant souvent entre des limites très étendues et atteignant presque la vitesse de la lumière.

J'ai pu entreprendre, au laboratoire de Mme Curie, à l'Institut du Radium de Paris, une étude détaillée du rayonnement β de plusieurs corps radioactifs, par la méthode du spectre magnétique de vitesses. J'ai été amené tout d'abord à examiner, en collaboration avec D. K. Yovanovitch, le

(1) En effet, M. S. Rosenblum a pu obtenir récemment des clichés photographiques révélant une structure fine du « spectre de vitesse » des rayons α. Voir *C. R.* 188, 1929 p. 1401, 190, 1930 p. 1125.

rayonnement β du mésothorium 2. Nous avons réussi à mettre en évidence des rayons β de *très grande vitesse* émis par ce radio-élément, ce qui m'a conduit à rechercher des rayons β très rapides, encore inconnus, dans les spectres de vitesse relatifs à d'autres substances radioactives. J'ai pu mettre en évidence de tels rayonnements, au cours de mes recherches, dans les spectres relatifs au thorium B + C, au radium B + C et au radium E.

Simultanément, j'ai pu vérifier dans le domaine des rayons β moins rapides émis par ces radio-éléments, les résultats obtenus précédemment par d'autres auteurs.

Enfin, l'emploi d'ampoules de verre mince contenant du radon, comme source de Ra (B + C), m'a amené à étudier, à titre de correction, le ralentissement des rayons β par la matière — en l'espèce par le verre de l'ampoule.

J'ai donc divisé ce travail en quatre parties :

1° Description de la méthode de déviation magnétique pour la mesure des vitesses et des énergies des rayons β ; étude des différents appareils employés ;

2° Examen des rayons β émis par le MsTh2, le Th B + C, le Ra B + C et le RaE ;

3° Etude du ralentissement des rayons β par la matière ;

4° Conclusions.

J'ai terminé ce travail en rappelant les théories actuellement admises à propos de l'émission des rayons β par les corps radio-actifs, et en formulant quelques hypothèses suggérées par mes expériences.

PREMIÈRE PARTIE

Spectres magnétiques de rayons β. — Méthode de déviation directe des rayons. — Méthode de focalisation. — Appareils employés. — Propriétés géométriques des appareils. — Champs magnétiques utilisés. — Avantages et inconvénients de chaque méthode.

1. Spectres magnétiques des rayons β. — La méthode la plus couramment employée pour l'étude des rayons β est celle dite du spectre magnétique. Elle consiste à soumettre ces rayons à l'action d'un champ magnétique qui sépare les différents groupes de vitesses. Le principe de cette sélection repose sur le fait qu'un électron de masse m, de charge e et de vitesse v, soumis à un champ magnétique uniforme H, normal à sa trajectoire, décrit un cercle de rayon :

$$R = \frac{mv}{He}$$

Si l'on adopte la formule de Lorentz-Einstein donnant la valeur de l'énergie E de l'électron :

$$E = m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right]$$

m = masse de l'électron au repos.

$\beta = \frac{v}{c}$, étant la vitesse de la lumière, la valeur du produit HR permet de connaître l'énergie de l'électron et sa vitesse.

Dans le champ magnétique uniforme, les électrons animés de différentes vitesses décriront des circonférences de rayons

différents. Les électrons qui décrivent ces trajectoires circulaires sont canalisés par un système de fentes qui les amène géométriquement à tomber sur une plaque photographique et à l'impressionner.

Deux dispositions géométriques sont employées : le dispositif à déviation directe et le dispositif à focalisation.

2. Dispositif à déviation directe des rayons. — On réalise

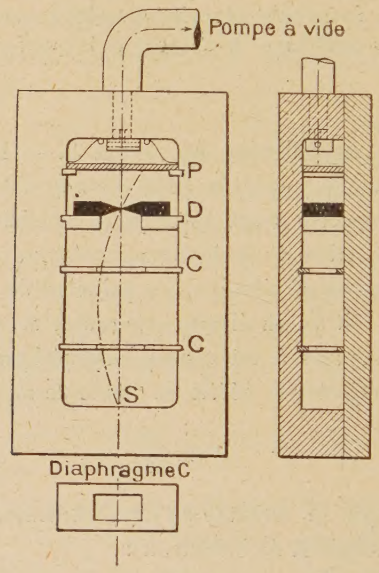


Fig. 1.

un faisceau étroit de rayons β déterminé par la source radioactive à étudier S, aussi linéaire que possible, et par une mince fente parallèle. Le faisceau vient tomber sur une plaque photographique située à quelques centimètres au-dessus de la fente. L'appareil dans lequel ce faisceau parcourt sa trajectoire est constitué par une boîte taillée dans un bloc d'aluminium A (fig. 1) fermée par un couvercle rodé du même métal. Un graissage des surfaces planes en contact de

la boîte et du couvercle assure l'étanchéité de la boîte. On peut donc réaliser à l'intérieur de celle-ci un vide très poussé, pour éviter la dispersion des rayons β par les particules de gaz résiduel. La fente fine est réalisée par deux morceaux de plomb antimonié taillés en doubles biseaux et montés sur un support, constituant le diaphragme D. Les deux blocs de plomb relativement épais protègent la plaque contre l'action des rayons γ de la source. Des fentes très régulières de moins de $1/10^{e}$ de mm. de largeur peuvent être réalisées. La largeur couramment employée dans mes expériences était de 0,6 à 0,07 mm. La plaque photographique P repose sur un cadre ; elle est maintenue immobile par un ressort de laiton. L'appareil est placé dans un champ magnétique uniforme, dont les lignes de force sont parallèles à la source, à la fente et au plan de la plaque photographique. Dans un champ magnétique d'intensité appropriée, les rayons γ non déviés viennent impressionner la plaque photographique suivant une raie fine qui est une image homothétique de la fente et les différents groupes de rayons β viennent inscrire parallèlement à la raie γ, une série de raies, d'autant plus éloignées de celle-ci que la vitesse des rayons correspondants est plus faible.

Un dispositif analogue a été employé antérieurement par O. von Baeyer, Hahn et L. Meitner [1].

Une des principales difficultés expérimentales, dans l'étude des spectres magnétiques des rayons β à l'aide d'un tel dispositif provient de la naissance de rayonnements secondaires excités par les rayons β et γ lorsque ceux-ci frappent les parois de l'appareil. Ces rayons secondaires produisent un voile nuisible sur la plaque photographique. On les atténue en grande partie par l'emploi de parois en aluminium. En outre, j'ai placé sur le trajet des rayons compris entre la

[1] Voir O. von Baeyer, *Jahrb. der Radioakt. u. Elektronik.*, 1914, p. 66.

fente et la source, deux diaphragmes en aluminium C, canalisant les rayons β utiles et arrêtant une grande partie des rayons parasites, ce qui a beaucoup amélioré la clarté des clichés. Il est nécessaire, si l'on veut obtenir sur la plaque des raies très fines, de mettre la fente relativement près de la plaque, aussi, dans mon appareil, les distances couramment employées étaient-elles de 1 cm. environ pour la distance plaque-diaphragme et 5 cm. pour la distance diaphragme-source. Ces dimensions sont un peu plus grandes que celles des auteurs allemands qui utilisaient respectivement 1 cm. 25 et 2 cm. 75. L'appareil que j'employais était donc susceptible de donner plus de dispersion du fait de ses distances intérieures plus grandes.

Appareil à déviation directe de grandes dimensions. — J'ai fait également construire un appareil à déviation directe de dimensions beaucoup plus grandes, où la distance de la plaque à la fente est de 2 cm. 5 environ et la distance de la fente à la source peut dépasser 15 cm. Tout le dispositif est situé dans une boîte en laiton avec couvercle à rodages, à l'intérieur de laquelle on peut faire un bon vide.

Cet appareil n'est utilisable qu'avec des sources radioactives très fortes, mais il donne des clichés très clairs dans lesquels la séparation des différents groupes de lignes est excellente. Il m'a surtout servi pour étudier les rayons β du Ra B + C ; les sources employées étaient des ampoules fines de radon dont l'intensité dépassait 100 millicuries.

Formule donnant le rayon et la largeur des raies. — La mesure du rayon de courbure R des différents groupes de rayons est donnée pour l'appareil à déviation directe, par une formule simple :

Soit a la distance plaque-diaphragme ; b la distance diaphragme source ; x la distance d'une raie à la raie centrale γ, on a :

$$R = \sqrt{\left(\frac{x^2 + a^2 + ab}{2x}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}.$$

Pour déterminer cette distance x, on mesure généralement la distance entre un des bords de la raie centrale γ et le bord de la raie B du côté des grandes vitesses. Ce bord des raies, du côté des grandes vitesses, est toujours plus net et mieux déterminé que l'autre.

J'ai aussi étudié l'élargissement purement géométrique que subit sur la plaque une raie déterminée par un diaphragme d'ouverture donnée et une source quasi-linéaire, lorsque cette raie se déplace à partir de la raie centrale γ jusque vers le bord de la plaque.

Pour les dimensions de l'appareil que je viens de mentionner, cet élargissement atteint au maximum 0 mm. 1 pour

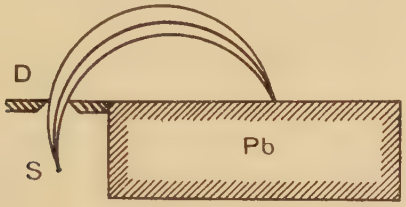


Fig. 2.

des raies distantes de 1 cm. de la raie centrale, c'est-à-dire pour les raies les plus éloignées. Cette erreur est négligeable par rapport aux erreurs de lecture des distances x des raies.

Dans le cas d'une source rigoureusement linéaire, la largeur l de la raie centrale γ est donnée, en fonction de la largeur l_d de la fente du diaphragme, par la formule :

$$l = l_d \frac{a+b}{b}.$$

Cette valeur représente aussi pratiquement celle de la largeur des raies β.

3. Dispositif à focalisation des rayons. — Dans ce dispositif, on réalise également une source aussi linéaire que possible (fig. 2).

A quelques centimètres au-dessus de cette source S, et parallèlement à celle-ci, se trouve une fente d'ouverture relativement large (environ 3 à 4 mm.). A côté de la source se trouve un épais bloc de plomb Pb, sur lequel se place la plaque photographique P, dont le plan doit coïncider avec le plan des arêtes du diaphragme D. Ce bloc est destiné à protéger la plaque contre le voile des rayons γ de la source. La perpendiculaire menée de la source au plan passant par la plaque et les arêtes du diaphragme doit tomber à l'intérieur de celui-ci. L'avantage de ce dispositif réside dans la propriété suivante :

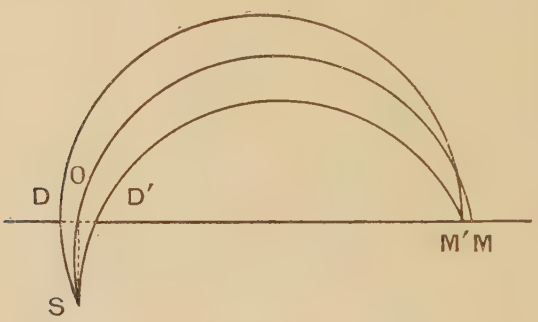


Fig. 3.

Soit un groupe homogène de rayons β. Les trajectoires de ces rayons ont, dans le champ magnétique, le même rayon de courbure R. La grande ouverture du diaphragme laisse passer un large faisceau de ces rayons, mais les circonférences qu'ils décrivent viennent toutes converger en une raie très étroite sur la plaque photographique. Il y a donc « focalisation », permettant un renforcement de l'intensité des raies sur la plaque par l'emploi d'un diaphragme de grande ouverture.

Cette focalisation résulte de la propriété géométrique suivante. Prenons, pour fixer les idées, un point S dont la per-

pendiculaire vient tomber au milieu des deux points D et D′ représentant les deux arêtes du diaphragme (fig. 3).

La circonférence passant par S et O, point milieu de DD′, viendra couper la droite passant par DD′ en un point M. On peut démontrer que les circonférences de même rayon passant par SD et SD′ viendront se couper sur cette droite en un point M′ compris entre M et un point très voisin de M. Toutes les autres circonférences issues de S passant à l'intérieur de de DD′ viendront couper la droite entre M et M′.

Ce sont Rutherford et Robinson qui ont mis en évidence cette propriété géométrique utilisée depuis par de nombreux auteurs, Ellis, Black, de Broglie, Thibaud. Antérieurement, Danysz a utilisé une méthode légèrement différente avec un diaphragme à fente plus étroite et des plaques photographiques mises parallèlement aux trajectoires des rayons β inscrivant directement les circonférences.

Généralement, l'appareil se trouve, comme dans le dispositif direct dans une boîte d'aluminium, pour diminuer l'effet des rayons secondaires. Le tout se place dans une autre boîte en laiton ou en cuivre à parois épaisses avec un couvercle rodé, permettant de faire un bon vide à l'intérieur de l'appareil. Celui-ci, comme pour les appareils à déviation directe, est placé dans un champ magnétique uniforme, dont les lignes de force sont parallèles à la source et à la fente.

Appareil à focalisation de nouveau modèle. — J'ai été amené à perfectionner l'appareil à foyer dans le but d'obtenir un dispositif donnant le plus de clarté possible aux clichés tout en utilisant la plus grande région possible du champ uniforme produit par l'électro-aimant Weiss que j'avais à ma disposition : j'ai réalisé un appareil creusé dans un seul bloc d'aluminium A dans lequel les parois latérales étaient supprimées et remplacées par les faces des pièces polaires de l'électro-aimant (voir fig. 4). Celles-ci viennent s'appliquer directement sur les rondelles circulaires de caoutchouc R, graissées à la vaseline, qui garnissent les deux

pourtours des faces de l'appareil. Dans l'espace cylindrique ainsi constitué, à l'intérieur duquel s'effectue la déviation des rayons β, on peut réaliser un bon vide sans qu'il soit nécessaire de serrer particulièrement fort les pièces polaires

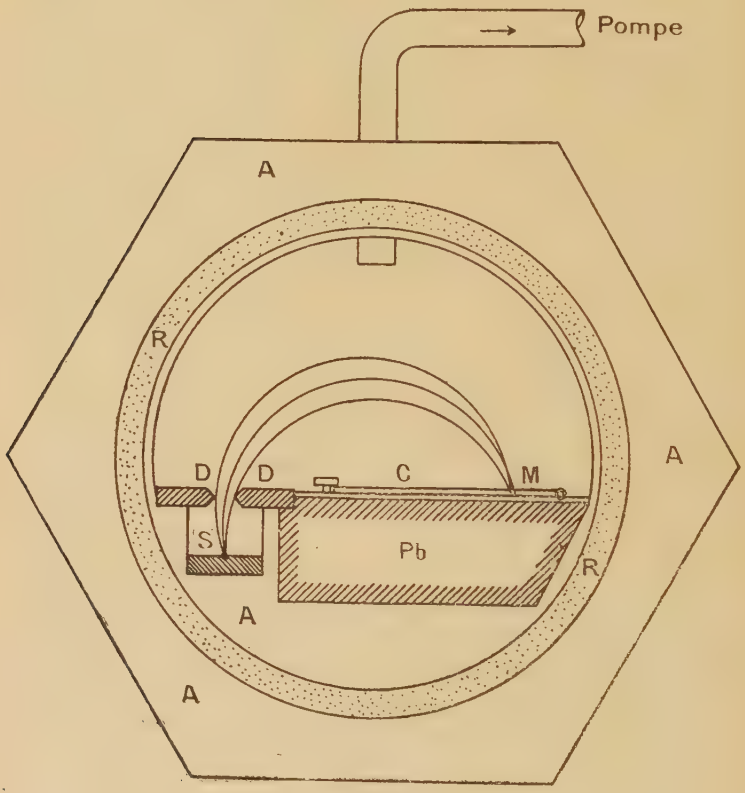


Fig. 4.

contre les caoutchoucs. Un semblable dispositif avait été utilisé antérieurement par S. Rosenblum (1) pour l'étude des rayons α. L'avantage d'un tel appareil est que pour un écar-

(1) *C. R.* 180, p. 1332, 1925.

tement donné des pièces polaires, on peut utiliser toute la largeur de l'entre-fer pour la plaque photographique ce qui rend plus visible les raies très faibles. D'autre part, les radiations secondaires voilant la plaque sont moins agissantes, puisque les parois, constituées par les pièces polaires elles-mêmes sont plus éloignées que dans le cas d'une boîte insérée dans l'entre-fer.

Tout l'appareil est en aluminium, sauf les deux biseaux de plomb de la fente du diaphragme D, et un épais bloc de plomb Pb encastré dans l'aluminium destiné à éviter l'action des rayons γ sur la plaque.

Sur ce bloc se trouve une plaque d'aluminium intermédiaire sur laquelle repose un *film* photographique ; ce dernier, plus commode à manier qu'une plaque, est maintenu immobile au moyen d'un cadre C en laiton muni d'une charnière, qui s'applique sur les bords du film.

L'écartement des pièces polaires pour l'emploi de cet appareil était d'environ 3 cm.

La distance de la source S au diaphragme était généralement de 1 cm. 80 environ, et celle du diaphragme au bord extrême du film photographique de 8 cm. 60.

Formule du rayon de courbure R. — La mesure du rayon R des trajectoires est donnée par la formule suivante :

Soit : a la distance source-diaphragme, b la distance du diaphragme à l'extrémité du film la plus éloignée, x la distance séparant une raie de cette extrémité, on a :

$$R = \sqrt{(b-x)^2 + a^2}.$$

Les rayons des trajectoires peuvent varier entre 1 cm. 80 et 4 cm. 30 environ.

L'ouverture de diaphragme généralement employée avec cet appareil a été de 4 mm.

La largeur d'une raie sur la plaque est donnée par la formule approchée suivante :

$$\Delta x = l + 2R(1 - \cos \varphi),$$

où x = largeur de la raie,

l = largeur de la source,

R = rayon correspondant,

φ = la moitié de l'angle sous lequel l'ouverture du diaphragme est vue de la source.

Les distances x des raies à l'extrémité du film sont toujours lues par rapport au bord des raies situé du côté des grandes vitesses. Ce bord, comme pour l'appareil à déviation directe, présente le maximum de netteté.

On utilise toujours pour la mesure des rayons le milieu de la plaque, car du fait que le champ magnétique d'un électroaimant est un peu plus fort près des pièces polaires qu'au milieu de l'entrefer, toutes les raies sont légèrement courbées vers les bords des plaques. De plus, les mesures du champ magnétique faites, par exemple, avec une balance Cotton ou avec un fluxmètre Grassot, se font généralement au milieu de l'entrefer.

La lecture des distances x des raies fortes par rapport à un repère fixe au bord du film se fait avec un microscope à faible grossissement.

J'ai employé aussi, pour un ou deux clichés, un appareil à foyer de dimensions beaucoup plus considérables, construit par D. K. Yovanovitch, où la largeur de la plaque atteint 4 cm. 5 et où le rayon maximum des trajectoires dépasse 9 cm.

Un tel appareil, qui permet de déterminer avec très grande précision le rayon R des trajectoires, donne des clichés superbes avec beaucoup de contraste. Il nécessite une région très étendue de champ uniforme.

4. **Champs magnétiques employés. Contrôle de leur uniformité.** — Le champ magnétique utilisé pour le petit appareil à déviation directe et l'appareil en aluminium à focalisation

est produit par un grand électro-aimant Weiss possédant des pièces polaires cylindriques de 14 cm. 5 de diamètre. Le courant d'excitation de l'électro-aimant passe dans des tubes de cuivre où l'on peut faire circuler un courant d'eau pour éviter l'échauffement.

La région de champ uniforme utilisé a été explorée à l'aide d'une bobine de petit diamètre reliée à un galvanomètre balistique de précision. L'écartement des pièces polaires utilisé pour l'appareil à foyer était de 3 cm. environ et de 2 cm. 80 environ pour le petit appareil à déviation directe.

Le champ magnétique se révéla uniforme à 1,5 o/oo près dans la région utilisée pour les trajectoires des rayons.

Comme le champ est encore plus uniforme dans la région avoisinant le centre des pièces polaires, région où sont comprises en majeure partie les trajectoires des rayons, on peut admettre que les défauts d'uniformité du champ introduisaient dans les mesures une erreur de 1 o/oo au maximum. L'erreur est encore plus faible quand on utilise, comme ce fut presque toujours le cas, pour la mesure des clichés des raies étalons dont on connaît *a priori* la courbure et qui servent à la mesure des raies voisines.

5. **Cadres de Helmholtz.** — Pour l'appareil à déviation directe, de très grandes dimensions, ainsi que pour le grand appareil à foyer, le champ uniforme était produit par deux cadres de Helmholtz. Avec ces cadres, on peut obtenir un champ uniforme dans une région très étendue.

La figure 5 montre l'ensemble de l'appareil. Le champ magnétique produit est exclusivement perpendiculaire au plan médian équidistant des bobines, et jouit, dans ce plan médian, d'une grande région d'uniformité. En effet, en un point P du plan médian (voir fig. 6) situé à la distance r de l'axe des bobines, la valeur du champ est donnée par la formule :

$$H = \frac{32\pi . N . i}{5a\sqrt{5}} \left[1 - \frac{1}{15} \cdot \frac{c^2}{a^2} - \frac{r^2}{a^2} \cdot 4 \cdot \frac{31c - 36b}{125\,a} - \frac{r^4}{a^4} \cdot \frac{54}{125} \right]$$

où N représente le nombre de spires dans chaque bobine et

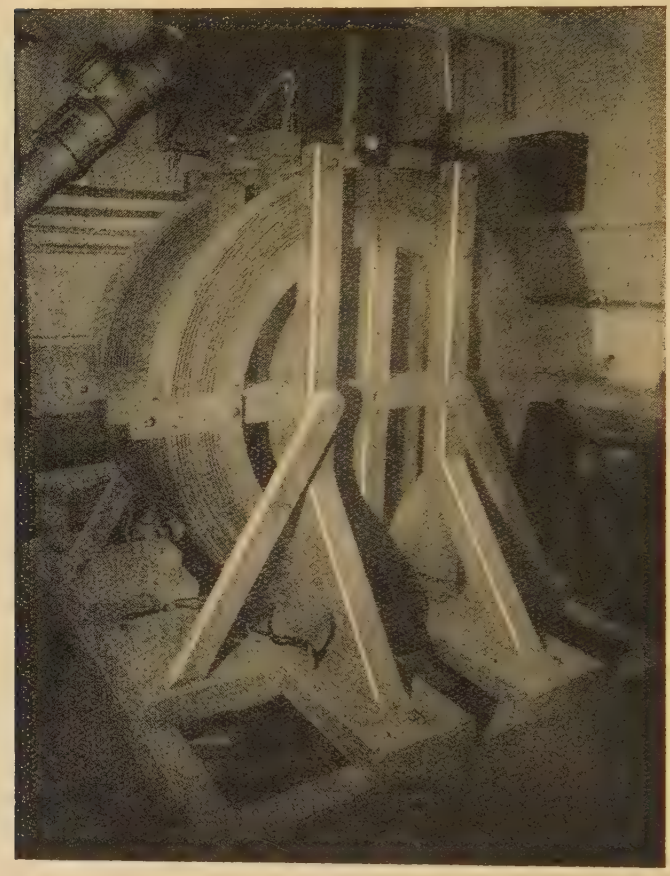


Fig. 5.

i l'intensité du courant, les autres lettres désignant les dimensions des bobines suivant les indications de la figure 6. On voit que, si a est suffisamment grand par rapport à r, le

champ au point P est très peu différent du champ au centre O :

$$H_0 = \frac{32\pi . N . i}{5a\sqrt{5}} \left[1 - \frac{1}{15} \cdot \frac{c^2}{a^2} \right].$$

Dans la réalisation pratique, on a fait :

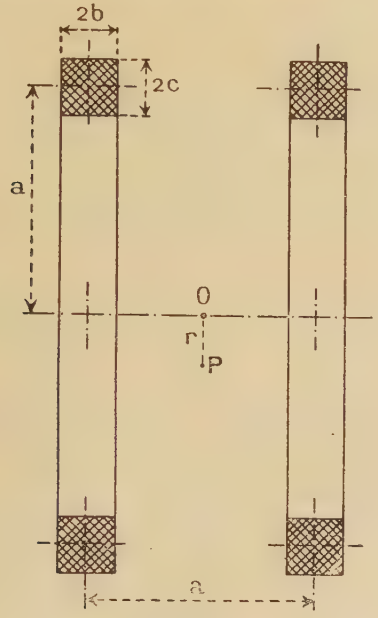


Fig. 6.

$a = 44$ cm. 5,
$2b = 12$ cm.,
$2c = 10$ cm.,
$N = 624$ (24 couches de 26 spires chacune).

Dans ces conditions, le champ a une valeur de 179 gauss pour une intensité i de 14 ampères. Ce champ est uniforme à 0,2 o/o près dans un cercle de 16 cm. de diamètre, et à 0,8 o/o près dans un cercle de 34 cm. de diamètre. Le contrôle de

cette uniformité a été fait à l'aide d'une petite bobine exploratrice de 2 cm. de diamètre reliée à un galvanomètre Thomson très sensible, balistiqué, et très éloigné du champ magnétique. La vérification de la valeur du champ fut faite par rapport à une raie bien déterminée du spectre de vitesse du thorium B pour laquelle Black donne, à 1/500e près, la valeur du rayon de courbure R de la trajectoire en fonction du champ H (HR = 1 398).

Le courant d'alimentation de ces cadres de Helmholtz, fourni par une batterie d'accumulateurs, atteignait normalement 12 ampères en service continu. Pour un courant de 18 ampères la consommation était de 2 kw. environ et la durée de fonctionnement était limitée par l'échauffement des bobines (1).

6 Avantages et inconvénients respectifs des méthodes par déviation directe et par focalisation. — La méthode de déviation directe, employée surtout au début de l'étude des rayons β, avait été abandonnée depuis comme donnant moins d'exactitude dans les mesures que la méthode de focalisation.

J'ai pu obtenir plus de dispersion qu'avec les appareils à déviation directe employés antérieurement par divers auteurs du fait des différents perfectionnements énumérés plus haut, en particulier de l'augmentation des dimensions.

En outre, la méthode de déviation directe permet d'obtenir sur un seul cliché l'étalement de toutes les lignes du spectre, et l'impression d'un fond continu d'intensité variable suivant les diverses régions du spectre. On peut très bien apprécier les différences d'intensité et d'aspect sur un tel cliché.

Enfin, si l'appareil à foyer avantage les groupes de vitesse

(1) Qu'il me soit permis d'apporter ici un hommage ému et reconnaissant à la mémoire de mon cher cousin et ami, Henry Lullin, qui m'a beaucoup aidé, lors de la construction de ces bobines, par ses connaissances approfondies en électricité pratique. Une mort prématurée l'a enlevé à la Science.

homogène en les condensant sur la plaque photographique en une ligne relativement forte, l'appareil à déviation directe avantagera les *groupes de lignes* ou les bandes continues qui seront ramassées sur un petit espace de la plaque.

Cet avantage devient encore plus marqué lorsqu'il s'agit d'impressions faibles de rayons β très rapides, qui ont lieu dans le voisinage de la raie γ.

Dans le voisinage de cette raie centrale, un ensemble de radiations très faibles de différentes énergies pourra être condensé sur un très petit espace de la plaque photographique et faire sur celle-ci une impression relativement forte. Les mêmes limites de vitesses correspondront à un étalement de plusieurs centimètres sur la plaque d'un appareil à foyer et l'impression photographique pourra complètement disparaître si les lignes séparées ou les bandes diverses de cette région sont trop faibles pour faire individuellement impression sur la plaque.

Par contre, comme je l'ai mentionné tout à l'heure, l'appareil à foyer sépare mieux les lignes fines de rayons β et permet de ce fait plus de précision dans les mesures.

Dans l'ordre chronologique, j'ai d'ailleurs utilisé en premier l'appareil à déviation directe. L'appareil à foyer en aluminium ne fut construit et mis au point que plus tard dans le but de compléter l'étude des spectres obtenus avec les appareils à déviation directe.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DES SPECTRES MAGNÉTIQUES DU RADIUM B + C. DU RADIUM E, DU MÉSOTHORIUM 2 ET DU THORIUM B + C.

INTRODUCTION

Dans cette deuxième partie de mon travail, j'ai étudié en détail les spectres magnétiques de vitesse de rayons β du Ra B + C, du RaE, du MsTh2 et du Th B + C. Le radium E a été étudié en collaboration avec Irène Curie, le MsTh2 et le Th B + C avec D. K. Yovanovitch. L'étude du spectre de chacun de ces corps a été divisée en deux parties.

1° Etude de l'ensemble du rayonnement β, comprenant notamment les rayons β de faible vitesse et de vitesse moyenne du spectre étudié;

2° Etude des régions de grande vitesse du spectre.

L'originalité de ce travail consiste en l'étude des régions du spectre où l'existence de rayons β de grande vitesse a pu être décelée. L'appareil à déviation directe fut principalement employé à cet effet.

Perfectionnement du dispositif expérimental pour déceler les rayons rapides. — Les impressions photographiques correspondant aux rayons β de grande vitesse situées dans le voisinage immédiat de la raie γ sont excessivement faibles. De plus, ces rayons β, en raison de leur grande vitesse, ont une faible action photographique et sont, par conséquent, très difficiles à mettre en évidence; c'est pourquoi j'ai apporté

à la méthode de déviation directe décrite ci-dessus une série d'améliorations portant principalement :

a) Sur les dimensions de l'appareil, notablement plus grandes que dans les expériences antérieures, en vue d'améliorer la dispersion ;

b) Sur l'emploi de moyens décrits plus haut en vue d'atténuer les effets secondaires. Dans le même but j'ai également parfois recouvert la plaque photographique de minces feuilles métalliques, en général en aluminium, de 0 mm. 01 à 0 mm. 05 qui laissent passer facilement les rayons β rapides ;

c) Sur la régularité et la finesse des fentes de diaphragme atteignant jusqu'à 0 mm. 1 de largeur ;

d) Sur l'emploi de bains révélateurs extrêmement lents ;

e) Sur la vérification de l'absence de raies parasites dues à la canalisation, par des poses de contrôle, sans champ magnétique.

C'est l'ensemble de ces perfectionnements qui a permis de déceler, avec l'appareil à déviation directe, des rayons de grande vitesse.

Résultats expérimentaux.

Remarque. — Il est important de remarquer que la précision des nombres donnés pour les vitesses des rayons β rapides est relativement faible et que l'appareil à déviation directe donne surtout, pour ces vitesses, un ordre de grandeur. En effet, il est difficile de lire avec précision, sur la plaque photographique, la distance qui sépare les groupes de rayons rapides de la raie centrale et d'en déduire le rayon de courbure R, d'abord, parce que l'impression photographique de ces groupes est faible et floue, ensuite, parce qu'ils sont dans la région de plus faible dispersion de l'appareil.

Il faut mentionner également que l'aspect de ces radiations rapides sur les clichés montre que l'on a surtout affaire à des groupes de radiations plutôt qu'à des raies isolées.

CHAPITRE PREMIER

Spectre magnétique des rayons β du radium B + C.

Aperçu historique. — Les rayons β du radium B + C ont été étudiés par la méthode du spectre magnétique par de nombreux auteurs. Parmi ceux-ci, il convient de citer tout d'abord Hahn, Bæyer, Meitner (1) qui, avec l'appareil à déviation directe, précédemment cité, trouvèrent quelques-uns des principaux groupes de rayons β émis par le radium B + C. Presque simultanément Danysz (2), à l'aide d'un appareil à foyer employé tantôt suivant le mode usuel, tantôt avec une fente rétrécie et les plaques photographiques mises parallèlement aux trajectoires des rayons, inscrivant directement les circonférences, décela de très nombreux groupes de rayons β du radium B + C jusqu'à des vitesses très élevées, et obtint de très beaux clichés, notamment pour les trois groupes lents très forts du radium B de HR = 1938, HR = 1677 et HR = 1410. Vers la même époque Rutherford et Robinson (3), par la méthode focale habituelle, firent une étude très complète des rayons du radium B et du radium C. Les travaux les plus récents et les plus complets sur ce sujet sont ceux d'Ellis et Skinner pour les rayons β du radium B et d'Ellis, pour ceux du radium C. Ellis et Skin-

(1) Hahn, Bæyer, Meitner, le résumé de leur article se trouve dans le journal *Le Radium*, 1912, p. 50. *Phys. Ztsch.*, t. XIII, 264, 1912. *Phys. Ztsch.*, t. XII, 273, 378, 1099, 1911.

(2) Voir Danysz, *thèse* de doctorat.

(3) Rutherford et Robinson, *Philosophical Mag.*, vol. XXVI, p. 717, 1913.

ner, employant un appareil à foyer possédant un grand pouvoir dispersif, donnèrent pour le radium B une liste très complète et très exacte des groupes de lignes depuis HR = 661 jusqu'à HR = 2480 (1). Ils donnèrent une analyse très complète de ces divers groupes de lignes et déduisirent de ce spectre naturel l'existence de plusieurs groupes de rayons γ, dont principalement trois groupes très intenses et un plus faible, comme produisant l'émission principale des lignes de rayons β.

De cette série de rayons β, Ellis et Skinner déduisirent pour l'atome du radium B une série de niveaux nucléaires s'élevant jusqu'à l'énergie de 531.000 volts.

Dans ce même travail, Ellis et Skinner étudièrent aussi les rayons β lents du radium C. Un peu plus tard Ellis (2) reprit l'étude complète de ces rayons et donna pour ceux-ci une liste de 58 lignes depuis HR = 1379 jusqu'à HR = 10020, avec la ligne très forte HR = 2980. Ellis déduisit de ces groupes de lignes l'existence de nombreux groupes de rayons γ ainsi qu'un schéma de niveaux d'énergies nucléaires s'élevant jusqu'à l'énergie de 2.216.000 volts pour l'atome du radium C.

Par la méthode photoélectrique des spectres magnétiques des rayons β excités par les rayons γ dans différents radiateurs métalliques, Ellis put vérifier l'existence de plusieurs de ces rayons γ du radium B et du radium C (3).

Thibaud, par cette même méthode photoélectrique put faire une vérification très complète de l'existence de la plupart de ces rayons γ jusqu'à des énergies dépassant 2.000.000 volts (4).

(1) *Proceedings Roy. Soc.*, séries A, vol. CV, février 1924, p. 165.

(2) Ellis. Les groupes de haute énergie dans le spectre magnétique des rayons du radium C. *Proceeding Cambridge Phil. Soc.*, 21, 121, 1922.

(3) Ellis. *Proc. Roy. Soc.*, séries A, vol. XCIX, p. 261, 1921.

(4) Thibaud. *Thèse* de doctorat, p. 71.

Thibaud employait un spectrographe doué d'un très grand pouvoir dispersif.

Pour être complet, il faut mentionner aussi que la vérification de l'existence de plusieurs de ces rayons γ du radium B et du radium C a pu être faite directement par la méthode de la diffraction cristalline, tout d'abord par Rutherford et Andrade, puis par Thibaud [1] et tout récemment par Frilley [2].

A la même époque que leur travail sur le spectre naturel des rayons β du radium B et du radium C cité plus haut, Ellis et Skinner firent une détermination de la valeur absolue des trois lignes fortes du radium B de HR = 1938, HR = 1677 et HR = 1410 [3]. Cette détermination très exacte fut très utile pour permettre dans les spectres magnétiques l'étalonnage précis de certaines lignes par ces trois lignes très fortes.

Je mentionnerai encore que, récemment, Black a publié un intéressant travail sur la radiation très lente du radium B et du radium C [4].

Rayons β lents et de vitesse moyenne du radium B + C.

Dispositif expérimental. Sources radioactives. — J'ai repris l'étude de l'ensemble du spectre des rayons β du radium B + C.

J'ai employé, pour l'étude de ce spectre les deux appareils à déviation directe décrits précédemment. L'appareil à déviation directe de grandes dimensions s'est montré très utile ici, car j'ai pu disposer de sources radioactives très fortes. Ces

(1) Thibaud. *Thèse* de doctorat, p. 76.
(2) Frilley. *Thèse* de doctorat.
(3) Ellis et Skinner. *Proc. Roy. Soc.*, January 1, 1924, p. 60, Lond. 105.
(4) Black. *Proceedings Roy. Soc.*, Lond. 109, 166, 1925.

sources, constituées par des ampoules de verre aux parois très minces, contenant une forte quantité de radon, étaient préparées par D. K. Yovanovitch, suivant une technique mise au point par lui, analogue à celle utilisée par Danysz et décrite dans sa thèse de doctorat.

Les ampoules à parois très minces étaient obtenues en étirant des tubes de verre à l'intérieur d'un large tube cylindrique de quartz chauffé au rouge par une flamme extérieure. On arrive à réaliser ainsi des tubes de très petit diamètre extérieur (0,2 à 0,3 mm.) et qui peuvent atteindre moins de 1/100 de mm. comme épaisseur des parois. Ces tubes sont soudés sur un appareil à extraction de radon. Le gaz actif, après purification, est finalement refoulé et condensé dans le tube qui, fermé à la flamme, a une longueur totale de 5 à 6 cm. Pour donner aux ampoules la longueur finalement utilisée dans les appareils, soit 10 à 12 mm. environ, la portion du tube qui devait constituer la source était trempée dans l'air liquide qui condensait le radon dans cette partie inférieure. Le tube était alors coupé et fermé par une flamme très petite, à la longueur voulue. Cette dernière partie de l'opération est extrêmement délicate avec des parois de verre aussi minces. Si le passage de la flamme n'est pas fait très rapidement, toute la paroi du tube s'échauffe et fond d'un seul coup.

Les sources radioactives ainsi obtenues étaient très intenses ; de l'ordre de 80 à 120 millicuries. Le champ magnétique était produit, lors de l'emploi du grand appareil à déviation directe, par les deux cadres de Helmholtz. Les courants employés variaient entre 4 et 9 ampères ce qui correspondait à des champs compris entre 50 et 120 gauss. Le petit appareil à déviation directe ne fut guère employé que pour la recherche des rayons β très rapides. J'ai utilisé aussi l'appareil à foyer en aluminium précédemment décrit et j'ai pu obtenir avec cet appareil un ou deux beaux clichés des rayons β du radium B + C.

Il est bon de noter que seuls les rayons β de vitesses supérieures à β = 0,5 pouvaient passer à travers les parois de l'ampoule.

L'étalonnage du champ magnétique était fait en prenant comme base la raie très forte de Ra B de HR = 1938, mesurée avec une haute précision par Ellis et Skinner. Toutes les expériences étaient faites dans un vide de l'ordre de 1/100e de millimètre suffisant pour éviter la dispersion des rayons β.

Intensité relative des raies et du fond continu. — L'aspect général d'ensemble du spectre des rayons β du Ra B + C est très intéressant par la répartition qu'il montre des différentes intensités des groupes de raies et du fond continu (voir planche 1, cliché 1).

Sur les clichés originaux obtenus à l'aide du grand appareil à déviation directe, la partie principale du rayonnement se manifeste par un fond continu qui commence à se manifester vers HR = 11 000, c'est-à-dire vers 2 800 000 volts. Il augmente lentement d'intensité vers les régions correspondant à de plus faibles vitesses jusqu'à un maximum mal délimité, situé entre 400 000 et 300 000 volts. Il décroît ensuite lentement et persiste encore au-dessous de 150 000 volts (1). Sur ce fond continu se détachent les différentes lignes produites par le radium C, qui apparaissent relativement faibles en raison de cette superposition.

Dans les régions correspondant aux faibles vitesses du spectre apparaissent, beaucoup plus fortement marquées, les lignes du radium B. Les trois lignes le plus fortement marquées du radium B apparaissent avec une remarquable intensité sur les clichés. Il est très intéressant de constater

(1) Sur mes clichés, il est difficile d'assigner une limite inférieure très précise à ce fond continu puisque comme je l'ai déjà dit, les rayons de vitesse inférieure à β = 0,5 sont supprimés par les parois de verre de l'ampoule de radon.

que la raie HR = 2 930, la plus forte du spectre naturel du radium C apparaît avec une intensité beaucoup moindre que les raies très intenses HR = 1 938, 1 677 et 1 410 du radium B, alors que dans les spectres photoélectriques, les raies secondaires dues au rayon γ de 610 000 volts qui produit dans le spectre naturel la raie HR = 2 980, sont considérablement plus fortes que les autres raies obtenues par voie secondaire, notamment celles dues aux rayons γ du Ra B.

Ceci est une illustration intéressante d'un fait déjà mentionné et exposé par Thibaud dans sa thèse et dans un article du *Journal de Physique*. La probabilité de transformation d'une radiation électro-magnétique en rayonnements β est globalement plus grande dans le cas où la transformation se fait dans l'atome émetteur lui-même, que dans le cas d'un atome quelconque, et, de plus, les probabilités respectives de transformations de rayons γ monochromatiques sont différentes dans ces deux cas (1).

Pour montrer les différences relatives d'intensités des spectres naturels et des spectres photoélectriques, superposons sur la même figure, le spectre naturel des raies fortes du radium B obtenues avec l'appareil à foyer à l'aide d'une ampoule mince de radon, et le spectre photoélectrique dans le même domaine de vitesse obtenu en introduisant la même ampoule de radon dans un mince tube de plomb à parois de 0 mm. 3 (voir planche I, clichés 2 et 3).

On remarque sur cette figure que les lignes secondaires du plomb sont beaucoup plus faibles que les lignes correspondantes du spectre naturel.

(1) Dans deux publications précédentes, aux *Comptes rendus* et au *Journal de Physique*, juin 1927, pp. 282 et 283, j'avais donné pour cette tête de bande la valeur HR = 10 700. J'ai pu depuis mesurer à nouveau très exactement quelques clichés obtenus au grand appareil à déviation directe; ces clichés m'ont donné pour cette tête de bande la valeur un peu plus élevée de HR = 11 000.

Ralentissement des rayons β par les parois de verre des ampoules de radon. — Les rayons β subissent un léger ralentissement en traversant les parois de verre des ampoules de radon que j'ai utilisées. Ces ampoules ayant, des parois de verre très minces, de l'ordre de 1/100e à 2/100e de millimètre d'épaisseur, le ralentissement et la perte d'énergie subis par les rayons du Ra B + C sont peu importants. J'ai exposé l'étude complète du ralentissement des rayons β par la matière dans la troisième partie de ce travail. Constatons seulement ici, comme provenant d'un très petit ralentissement, le léger écart systématique des valeurs de HR de quelques lignes fortes avec les valeurs correspondantes d'Ellis (voir tableau I).

TABLEAU I

Valeurs des HR de quelques raies fortes du Radium B + C obtenues avec une ampoule mince de radon.

HR obtenus d'après nos clichés	Observations	HR d'Ellis
2986	Raie très forte du RaC	2980
2261	Raie forte du RaB	2256
1938	Raie très forte du RaB servant d'étalon commum	1938
1672	Raie très forte du RaB	1677
1398	Raie très forte du RaB	1410

Rayons β de grande vitesse du radium B + C.

Résultats obtenus avec l'appareil à déviation directe. — Pour l'exploration des régions de grande vitesse du spectre du radium B + C, l'emploi du petit appareil à déviation directe en aluminium s'est montré particulièrement approprié. Avec cet appareil placé entre les pièces polaires de

l'électro-aimant Weiss, une série de clichés fut prise avec des champs magnétiques compris entre 200 et 450 gauss. L'emploi de sources radioactives très fortes constituées par des ampoules minces de radon, a permis d'utiliser également l'appareil à déviation directe de grandes dimensions. L'emploi de ces deux appareils a permis de constater sur les clichés, l'existence d'une tête de bande de rayons β vers HR = 11 000, marquant la fin du rayonnement principal du radium B + C (1) et d'une faible bande correspondant à un groupe de rayons plus rapides, compris entre HR = 15 000 et HR = 27 000. L'emploi de feuilles très minces d'aluminium, recouvrant les plaques photographiques, pour atténuer les rayonnements parasites a été très utile pour faire ressortir cette bande faible sur les clichés.

Résultats d'autres auteurs. — Rutherford et Robinson (1) en se servant d'un appareil à foyer et en utilisant des plaques très sensibles, spéciales pour rayons X, avaient trouvé des traces de radiations faibles jusqu'à HR = 20 000.

Danysz (2), en employant une modification de la méthode habituelle de focalisation (emploi d'une fente relativement étroite et d'une plaque placée parallèlement aux trajectoires des rayons β, inscrivant directement les trajectoires circulaires), et en utilisant des sources radioactives extrêmement intenses, est arrivé à déceler des radiations faibles jusqu'à HR = 26 000 (dont deux groupes faibles notamment, de HR = 11 200 et HR = 18 000).

Chadwick, par une méthode de numération de Geiger et par la méthode d'ionisation (3) est arrivé à déceler des radiations faibles jusqu'à HR = 14 000.

(1) Rutherford et Robinson, *Phil. Mag.*, t. 26, 1913, p. 717.
(2) J. Danysz, *C. R.*, t. 153, 1911, p. 1066 et *Thèse* de doctorat, p. 43.
(3) Chadwick, Verhandlung. *Deutsh. Phys. Gesell.*, 30 avril 1914, p. 383, n° 8.

Tout récemment, Lewis, par l'action combinée des champs électrique et magnétique, suivant la méthode de Bucherer (1), concluait à l'existence de rayons β extrêmement rapides, supérieurs comme vitesse à $\beta = 0{,}99$, de l'ordre des rayons très rapides observés par Danysz.

Il est intéressant de comparer ces résultats obtenus par différentes méthodes, avec les miens. Le Ra B + C étant le corps radioactif le plus facile à préparer en sources fortes, c'est lui qui devait, en effet, fournir les confirmations expérimentales les plus nombreuses pour les rayons β rapides.

Ces différents résultats s'interprètent aisément si l'on examine cette région des grandes vitesses à l'aide de l'appareil à foyer qui donne la description la plus exacte et la plus complète des radiations. J'ai pu obtenir un ou deux clichés de cette région avec l'appareil à focalisation en aluminium ; sur ces clichés (2) le fond continu principal se termine d'une façon imprécise entre HR = 11 000 et 12 000 (ce qui est en bon accord avec la tête de bande de HR = 11 000 de l'appareil à déviation directe).

Au delà un très faible fond continu persiste encore jusque vers HR = 15 000 (ce qui correspond bien avec les expériences de Chadwick, le dispositif expérimental de ce dernier étant particulièrement propre à déceler le fond continu). Au-dessus de HR = 15 000, mes clichés originaux portent l'indication de quelques traces de radiations très faibles, la région comprise entre HR = 15 000 et HR = 27 000 s'étalant dans ce cas sur 4 cm. du cliché (avec l'appareil à déviation directe cette même région est condensée sur 0 mm. 3

(1) Lewis, *Proc. Roy. Soc.*, t. 107, 2 mars 1925, p. 544.
(2) Voir planche II, cliché 2.

Tableau II

Rayons β rapides du radium B + C.

Energie × 10^3 volts	J. d'Espine (appareil à déviation directe)		Danysz (appareil à foyer, plaques parallèles aux trajectoires des rayons)		Rutherford et Robinson (appareil à foyer)		Chadwick (méthode de numération et d'ionisation)	Ellis (appareil à foyer)
	HR	Observations	HR	Observations	HR	Observations	HR	HR
Entre 7600 et 4000	Entre 27000 et 15000	Bande faible de rayons rapides.	Jusqu'à 26000	Traces de raies faibles.	Jusqu'à 20000	Traces de raies faibles.	Jusqu'à 14000	
			18100	Raie faible.				
2800	11000	Tête bande, fin du rayonnement principal.	11200	Radiation faible.				
2523	9960	Doublet faible.			9965	Raie faible		10020

environ, c'est-à-dire sur un espace plus de 100 fois plus petit).

Comme le signalait déjà Danysz dans sa thèse, l'existence des rayons très rapides est d'un grand intérêt théorique. Je reviendrai sur ce point dans un chapitre ultérieur de mon travail.

CHAPITRE II

Spectre magnétique des rayons β du radium E.

(En collaboration avec Irène Curie).

Aperçu historique. — Le spectre magnétique des rayons β du radium E a été exploré par plusieurs auteurs, notamment par Gray (1), par Schmidt (2), par Kovarik Mac Keehan (3) et principalement par Danysz (4). Danysz a trouvé comme vitesses-limites de la bande continue qui forme la partie principale du spectre du Radium E les valeurs $\beta = 0{,}94$ et $\beta = 0{,}70$. Il a obtenu dans sa thèse une jolie radiographie de cette bande continue. Il a signalé en outre l'existence d'un faible rayonnement de vitesse plus grande. Tout récemment. Ellis et Wooster (5), étudiant l'énergie moyenne de désintégration du radium E, ont trouvé que les rayons β de ce corps avaient une énergie initiale variant entre 1 000 000 de volts et 40 000 volts avec un maximum à 390 000 volts.

Dispositif expérimental. Sources de rayonnement. — Nous avons repris l'étude des rayons β du radium E en employant le petit appareil à déviation directe en aluminium, particulièrement approprié pour l'étude des spectres de bandes continues. Les champs magnétiques employés, de l'ordre de 100

(1) Gray, *Proc. Roy. Soc.*, 84 A, 136, 1916.
(2) Schmidt, *Phys. Z. S.* 10, 6, 1909. *Ibid.*, 8, 361, 1907.
(3) Kovarik et Mac Keehan, *Phys. Rev.*, 2, 8, 574, 1916.
(4) J. Danysz, *Annales de Chimie et de Physique*, 30, 1913, p. 241.
(5) *Proc. Roy. Soc.*, 117, 1927, 109-123.

à 400 gauss, étaient mesurés à la balance Cotton. Les poses étaient faites dans un vide de l'ordre de 1/100 de millimètre.

Préparation des sources radioactives. — Le radium E était extrait d'une préparation de radium D mélangé à quelques milligrammes de plomb, par une cristallisation dans l'acide nitrique concentré, procédé déjà décrit dans un travail du laboratoire Curie (1) ; il était ensuite déposé sur une étroite languette de cadmium, ou précipité avec un peu d'aluminium et disposé dans une gouttière étroite d'aluminium ; dans tous les cas il ne restait avec le radium E qu'une quantité très faible de plomb et de radium D ; le poids de matière était très faible et ne devait pas produire d'absorption notable sur le rayonnement β rapide étudié (la couche de matière pour l'une des sources préparées était vraisemblablement inférieure à 4 mgr. par centimètre carré).

Ensemble du spectre de rayons β du radium E.

On sait que le rayonnement émis par le radium E se compose principalement : 1° d'une émission de rayons β dont le spectre magnétique est une bande continue, intense, de vitesse élevée ; 2° d'un faible rayonnement γ (2), relativement pénétrant (3), dont le coefficient massique d'absorption est $\frac{\mu}{\rho} = 0{,}092$ dans l'aluminium. Le radium E n'émet ni groupes intenses de rayons β, ni fort rayonnement γ. Nous avons obtenu quelques belles radiographies de cette bande continue de rayons β (voir pl. II, cl. 1). Cette bande principale de rayons β du radium E est très nettement délimitée du côté des grandes vitesses pour $\beta = 0{,}0936$ et se termine

(1) Irène Curie et Georges Fournier, *Comptes rendus*, 176, 1923, p. 1301.
(2) Rutherford et Richardson, *Phil. mag.*, 26, 1913, p. 324.
(3) Irène Curie et G. Fournier, *loc. cit.*

d'une manière imprécise vers $\beta = 0{,}70$ du côté des faibles vitesses ; la bande présente un palier d'intensité maximum entre $\beta = 0{,}86$ et $\beta = 0{,}80$. L'aspect que l'on observe pourrait s'interpréter par l'existence de deux bandes d'intensité peu différente se recouvrant partiellement, l'une bien délimitée des deux côtés et s'entendant de $\beta = 0{,}936$ a $\beta = 0{,}80$; l'autre, moins délimitée, s'entendant de $\beta = 0{,}86$ à $\beta = 0{,}70$. On observe un rayonnement β très faible pour des vitesses de l'ordre de $\beta = 0{,}51$, mais il est difficile d'affirmer que ces rayons ne sont pas dus à des effets parasites.

Comme le mentionnait Mme Curie dans un récent travail [1] l'étude photométrique de cette bande principale de rayons β offre un grand intérêt. Celle qui a été faite par M. Proca montre une courbe qui commence avec le début de la bande principale, croît lentement jusqu'à un maximum vers 400 000 volts, et décroît ensuite pour se terminer vers 100 000 volts. Il est très intéressant de constater que ce maximum d'intensité de 400 000 volts trouvé par cette méthode est en bon accord avec le maximum de 390 000 volts trouvé par Ellis et Wooster pour l'énergie initiale des rayons β du radium E [2].

Nos résultats pour la bande principale de rayons β du radium E se trouvent résumés dans le tableau suivant :

TABLEAU III

Bande principale de rayons β du Radium E.

Observations	HR	$\beta = \frac{c}{v}$	V énergie en volts
Bande principale : forte	4500	0,936	940000
Bande principale : très forte	2900	0,86	500000
Bande principale : très forte	2240	0,80	340000
Bande principale : assez forte	1640	0,70	200000
Traces de rayonnement	1000	0,50	80000

[1] « Sur l'application de la théorie de Compton au rayonnement β et γ des corps radioactifs », par Mme P. CURIE. *Journal de Phys.*, avril 1926, p. 107.

[2] ELLIS et WOOSTER, *Loc. cit.*

Remarque. — Les valeurs de ce tableau concordent bien avec les résultats de Danysz ; celui-ci, employant un appareil à foyer, trouvait comme limites de vitesses pour cette bande principale du radium E les valeurs $\beta = 0{,}94$ à $0{,}70$. Nos résultats sont également en bon accord avec ceux d'Ellis et de Wooster qui trouvent que l'énergie initiale des rayons β du radium E varie de 1 000 000 volts à 40 000 volts.

Rayons β de grande vitesse du radium E.

Avec l'emploi de fortes sources préparées par Irène Curie (équivalentes en rayons β à environ 20 mg. de radium élément), il a été possible de déceler pour le radium E une très faible bande de rayons rapides comprise entre HR $= 7\,000$ et HR $= 10\,000$.

Comme on le voit, l'énergie de ces rayons est sensiblement moins élevée que pour les autres corps étudiés plus haut.

Le rayonnement principal se termine en une forte tête de bande vers HR $= 4500$. Là encore, l'emploi d'écrans très minces d'aluminium couvrant la plaque photographique a beaucoup amélioré la clarté du cliché en éliminant les radiations parasites provenant de traces de polonium ayant contaminé l'appareil.

Résultats d'autres auteurs. — Danysz [1], par la méthode déjà employée pour les rayons β de Ra B + C, a trouvé sur ses clichés l'indication d'une bande très faible de rayons β rapides comprise entre les limites de vitesse $\beta = 0{,}963$ et $\beta = 0{,}99$, ce qui correspond à peu près aux valeurs HR $= 6\,000$ à HR $= 12\,000$. Les résultats trouvés avec l'appareil à déviation directe sont donc en parfait accord avec ceux trouvés par Danysz.

[1] Danysz, *Loc. cit.*, et *Thèse* Paris, 1913, p. 63.

TABLEAU IV

Rayon β du radium E

I. CURIE et J. d'ESPINE (appareil à déviation directe)			J. DANYSZ (appareil à foyer)	
HR	Observations	Energie $\times 10^3$ volts	HR	Observations
10000 à 7000	Bande très faible de rayons	2500 à 1700	12000 à 6000	Bande très faible
4500	Début bande principale forte	936	4900	Début bande principale

Remarque générale. — L'étude d'ensemble du spectre de rayons β du radium E, qui a la particularité de n'émettre que des bandes continues sans groupes de lignes isolées, présente le plus grand intérêt par les conclusions théoriques qui s'en dégagent. Je reviendrai sur cette discussion dans la dernière partie de mon travail.

CHAPITRE III

Spectre magnétique des rayons β du mésothorium 2.

(En collaboration avec D. K. Yovanovitch).

Pour abréger la rédaction de ce travail, je me permettrai de renvoyer le lecteur à la thèse de mon collaborateur et ami D. K. Yovanovitch, pour la description détaillée du spectre de rayons β du mésothorium 2 (1). Je citerai également un récent travail sur la radiation β très lente du mésothorium 2 par Yovanovitch et Proca (2). Je mentionnerai enfin que D. K. Yovanovitch et moi, en collaboration avec Al. Proca, avions commencé une étude du spectre photoélectrique du mésothorium 2.

Dans une première investigation de la région de faibles vitesses du spectre du Msth 2, jusque vers 400 000 volts, nous avons pu obtenir par la méthode photoélectrique, confirmation très nette de l'existence d'un groupe de rayons γ de 338 000 volts, déduit par Black du spectre naturel du MsTh 2. Thibaud avait vérifié aussi l'existence de ce même rayon γ par voie photoélectrique en utilisant comme source radioactive du mésothorium en équilibre avec ses produits actifs. Nous employions comme radiateurs des tubes minces de plomb de 0 mm. 3 d'épaisseur de parois, dans lesquels les oxydes de terre rare contenant le MsTh 2 (obtenu par le procédé habituel) étaient tassés et fortement comprimés (3);

(1) Yovanovitch, *Thèse* de doctorat.

(2) Yovanovitch et Proca, *C. R. de l'Académie des Sciences*, séance du 8 novembre 1926.

(3) Voir par exemple Yovanovitch et d'Espine, *C. R.*, t. 178, p. 1811, séance du 26 mai 1924.

nous avons utilisé l'appareil à focalisation en aluminium. Dans cette première investigation nous ne pûmes pas obtenir les lignes secondaires correspondant au groupe γ de 58 000 volts qui donne pourtant les lignes les plus fortes du spectre naturel, ce qui est encore un exemple des différences d'intensité entre les raies des spectres naturels et celles des spectres photoélectriques.

Pour terminer, je mentionnerai que sur nos clichés du spectre naturel des rayons β du MsTh 2, obtenus à l'appareil à déviation directe, le fond continu principal qui commence à se manifester vers HR = 6800, c'est-à-dire vers $15{,}9 \times 10^5$ volts, augmente d'intensité jusque vers un maximum mal délimité situé vers 350 000 volts. Ce fond continu très intense décroît ensuite progressivement et persiste jusque vers 80 000 volts. Cette constatation est très importante au point de vue théorique, j'y reviendrai un peu plus loin.

CHAPITRE IV

Spectre magnétique des rayons β du thorium B + C. (En collaboration avec D. K. Yovanovitch).

Aperçu historique. — Parmi ceux qui étudièrent le spectre magnétique des rayons β du thorium B + C il convient de citer en premier les auteurs allemands (1). Plus récemment, L. Meitner fit paraître un très intéressant travail pour prouver l'existence d'un rayonnement β primaire du thorium B (2). Ellis étudia par la méthode focale habituelle les rayons β du spectre naturel du thorium C + D et trouva toute une série de lignes comprises entre les énergies $0{,}254 \times 10^5$ volts et $8{,}02 \times 10^5$ volts (3). Il déduisit plusieurs rayons γ de ce spectre naturel, jusqu'à l'énergie de 654 000 volts. L. Meitner étudia aussi les rayons β du Th C + C″ et montra, par l'emploi de l'appareil à déviation directe, l'existence d'une bande de rayons β rapides comprise entre les valeurs HR = 5460 et HR = 4960 (4). L. Meitner déduisit aussi du spectre naturel du Th C + C″ plusieurs rayons γ.

(1) Voir O. von Baeyer, Analyse des spectres magnétiques des rayons β des éléments radioactifs, *Jahrb. Rad. u. Elektr.*, 1914, p. 66.

(2) L. Meitner, Spectres des rayons β des substances radioactives, *Z. S. fur Phys.*, IX, 3, 1922.

(3) Ellis, *Proc. Roy. Soc.*, avril 1922, p. 1.

(4) L. Meitner, Sur les spectres des rayons β et leur rapport avec le rayonnement λ. *Zs. f. Phys.*, cahier 11, p. 35, 1922. Voir aussi J. Thibaud, *Thèse*, p. 18 et 71.

Pohlmeyer explora l'ensemble du spectre des rayons β du Th B + C par une méthode d'ionisation au moyen de laquelle il admit la limite extrême du spectre vers HR = 7 000 (5).

Le travail le plus récent sur le spectre magnétique des rayons β du Th B + C est celui de Black (1). Dans ce travail Black, utilisant la méthode focale habituelle, mesurait le champ magnétique d'après les lignes très fortes étalons du radium B. Il attribua ainsi notamment aux deux lignes très fortes du Th B les valeurs HR = 1 398 et HR = 1 764. Pour le Th B il délimita 17 lignes comprises entre les valeurs HR = 835 et HR = 2 095. Pour le Th C + D il détermina 40 lignes comprises entre les valeurs HR = 541 et HR = 10 380.

De ces spectres naturels Black déduisit plusieurs radiations γ en bon accord avec certains résultats trouvés déjà précédemment par d'autres auteurs. Il cita notamment pour le Th C l'existence de trois rayonnements principaux compris entre 74 000 volts et 300 000 volts. Pour le Th C + D, Black donna une liste de 11 radiations entre les limites de 41 000 volts et 2 650 000 volts. Black put même proposer un système de niveaux nucléaires allant jusqu'à 660 000 volts, rendant compte d'une manière satisfaisante de 8 de ces rayonnements γ. Cette classification est en bon accord avec celle déjà suggérée par Ellis. Black signala l'absence de lignes dans la région du spectre comprise au-dessus de 1 000 000 de volts, et mentionna dans cette région l'existence d'un fort fond continu cessant vers 2 200 000 volts.

Au delà de ce fond continu, Black signala l'existence d'un groupe de lignes de haute énergie semblant dû au rayonnement γ de 2 650 000 volts.

(5) Pohlmeyer, *Zs. f. Phys.*, t. 28, 1924, p. 216.

(1) Black. Spectres de rayons β des produits de désintégration du thorium. *Proc. Roy. Soc.*, séries A, vol. CIX, 1er septembre 1925, p. 166.

Tout récemment Thibaud explora aussi les régions de très grandes vitesses du spectre naturel du Th B + C et trouva dans ce domaine de très intéressants résultats. Nous reviendrons sur ce travail un peu plus loin. Les spectres photoélectriques du Th B + C furent étudiés également par Thibaud qui put démontrer d'une façon certaine l'existence des principaux rayonnements γ déduits des spectres naturels par d'autres auteurs. Pour être complet mentionnons que Thibaud a pu vérifier l'existence de un ou deux de ces rayonnements directement par diffraction cristalline, notamment pour la radiation γ très forte de 238 000 volts du Th B.

Dispositif expérimental. — Pour l'étude du spectre des rayons β du Th B + C, nous avons utilisé simultanément le petit appareil à déviation directe en aluminium et l'appareil à foyer également en aluminium. Les sources radio-actives étaient des fils d'argent activés dans l'émanation du thorium ; elles étaient équivalentes à environ 10 mg. de radium élément. Les poses étaient faites dans un vide de l'ordre de 1/100e de millimètre. Le champ magnétique était mesuré en prenant comme étalon la raie très forte du Th B de HR = 1 398.

Ensemble du spectre des rayons β du Th B + C. — Intensité des raies et fond continu. — Sur les clichés obtenus à l'appareil à déviation directe montrant l'ensemble du spectre du Th B + C, le fond continu principal débute par une bande continue fortement marquée, déjà signalée par de précédents auteurs (Comme nous l'avons vu, la limite supérieure de ce fond continu est de 2 200 000 volts, d'après le travail de Black).

Vers les régions de plus faibles vitesses, le fond continu tout en étant d'une intensité moins grande reste cependant encore nettement appréciable sur nos clichés. Dans cette région de plus basse énergie apparaissent les principales

lignes du Th B et du Th C, notamment les deux lignes très fortes du Th B de HR = 1 398 et HR = 1 764 (voir cliché I, planche IV). Ces deux lignes qui apparaissent sur les clichés avec une remarquable netteté, présentent par leur position dans le spectre et leur intensité une assez frappante analogie avec les trois lignes très fortes du radium B. Sur nos clichés obtenus avec l'appareil direct, le maximum d'intensité du fond continu doit se situer dans la bande continue fortement marquée, sans qu'il soit possible de fixer ce maximum en un point très précis de cette bande (1).

Mesure de quelques raies fortes du Th B et du Th C. — Avec l'appareil à foyer nous avons pu prendre plusieurs clichés de la région des lignes fortes du Th B et du Th C. Ces lignes fortes sont d'une grande netteté et permettent de ce fait des mesures très précises. Nous avons rassemblé les valeurs obtenues dans le tableau suivant, en les comparant aux valeurs de Black.

TABLEAU V

Lignes fortes de rayons du Th. B. et du Th. C + D.

HR de YOVANOVITCH et d'ESPINE (appareil à foyer)	Observations	HR de BLACK (appareil à foyer)
1820	Raie assez forte du Th. B.	1820
1764	Raie très forte du Th. B.	1764
1704	Raie d'intensité moyenne Th. B.	1701
1606	Raie d'intensité moyenne du Th. C + D.	1604
1398	Raie très forte du Th. B. *étalon*	1398
659	Raie assez forte du Th. C.	658

(1) Il serait d'un grand intérêt de faire une étude photométrique détaillée de cette bande continue.

Remarque. — Dans son travail Black donne comme ordre de précision de ses mesures la valeur 1/250e ; la remarquable concordance de nos valeurs avec celles de Black, montre que la précision de la valeur des raies énumérées dans ce tableau, est certainement très supérieure à 1/250e. Notamment les valeurs relatives des deux raies très fortes du Th B, sont certainement exactes à 1/1000e près.

Rayons β de grandes vitesses du Th B + C

Résultats obtenus à l'aide de l'appareil à déviation directe. — En utilisant l'appareil à déviation directe en aluminium, nous avons décelé trois groupes de rayons β de grandes vitesses, deux groupes faibles de HR = 11 000 et HR = 18 000 et un groupe très faible vers HR = 40 000 (1). Là encore l'emploi de feuilles minces d'aluminium mises sur la plaque photographique se révéla très utile pour faire apparaître ces radiations faibles sur les clichés.

Autres résultats. — Peu après la publication de ces résultats, Black signalait un groupe de rayons β de grande vitesse de HR = 10080, HR = 10340 et HR = 10380 (2) décelé avec un appareil à foyer. Ce résultat est en bonne concordance avec notre groupe HR = 11 000 pour lequel la préci-

(1) Dans deux publications précédentes, aux *C. R.* du 19 février 1925 et dans le *Journal de Physique* de juin 1927, p. 280, nous avions signalé ce groupe très rapide de HR = 40 000 comme probable car le temps nous avait manqué pour prouver son existence d'une façon définitive d'après nos clichés. Le fait qu'il a été retrouvé par Thibaud, comme nous le signalons ci-après, permet d'affirmer son existence d'une façon certaine.

(2) Nos résultats furent publiés dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* du 19 février 1925. Le résultat de Black parut dans le numéro du 13 février 1925, p. 34, du journal anglais *Nature*.

Voir aussi l'article de Black paru dans *Proc. Roy. Soc.*, séries A, t. 109 (1er septembre 1925), p. 166.

cision est relativement faible (Black signale aussi l'existence d'un fort fond continu s'étendant jusque vers $2{,}2 \times 10^6$ volts).

Nous avons également repris l'étude de ces rayons β rapides avec l'appareil à focalisation, en aluminium, qui nous a montré l'existence de la raie de HR = 10080 avec un faible doublet vers HR = 10350. Nous avons également trouvé, avec cet appareil à foyer, que le fond continu principal cesse vers HR = 8600 et qu'un fond continu très faible persiste jusque vers HR = 13000. Au delà, les clichés semblent porter l'indication de radiations très faibles jusque vers HR = 20000. Toutefois, nous n'avons pu poursuivre notre étude pour avoir une preuve décisive sur ce dernier point.

Le temps nous a manqué également pour étudier avec cet appareil à foyer la région de très grandes vitesses du spectre comprise au-dessus de HR = 20000.

Tout récemment J. Thibaud a exploré la région de grande vitesse du spectre naturel du Th B + C en employant un appareil à déviation directe d'assez grandes dimensions et une source de mésothorium dans un tube de verre mince. Il utilisait de forts champs magnétiques compris entre 2000 et 4000 gauss. Le groupe de grande vitesse trouvé par nous de HR = 40000 environ, de 11000000 de volts a été retrouvé par Thibaud valant HR = 37200 et de 10600000 volts. Il a réussi, avec les champs magnétiques cités ci-dessus, à déplacer sur ses clichés ce groupe très rapide de 10600000 volts de 2 à 5 mm. de la raie centrale γ. Ce résultat est une confirmation très intéressante et très importante de notre groupe de rayons très rapides et, d'après ses clichés, J. Thibaud a pu photométrer l'aspect de cette raie très rapide et lui a trouvé une répartition d'intensité à peu près semblable au schéma ci-contre (fig. 7) :

Ce fait est du plus haut intérêt et sera repris dans les conclusions théoriques de ce travail. Les rayons β de ce groupe très rapide du Th B + C sont donc animés de *la plus grande*

vitesse matérielle connue jusqu'à ce jour, environ de 999 millièmes de la vitesse de la lumière.

Thibaud a trouvé sur ses clichés l'indication d'un autre groupe encore plus rapide de 15 700 000 volts, groupe probable dont il n'a pu faire la preuve certaine.

Enfin les deux groupes plus lents trouvés par D. K. Yovanovitch et par moi de HR = 11 000 et HR = 18 000 ont été retrouvés par J. Thibaud pour les valeurs de HR = 10 500 et HR = 16 700 ; le premier est le groupe, aussi retrouvé par Black des trois lignes HR = 10 080, 10 340 et 10 380 avec l'appareil à foyer.

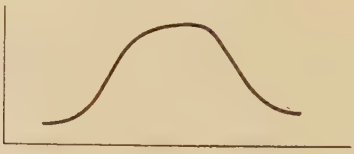


Fig. 7.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les résultats antérieurement connus étaient ceux de L. Meitner, qui, avec un appareil à déviation directe, avait trouvé l'existence d'une bande de rayons rapides du thorium C + C″ de HR = 5 460 (1) et ceux de Pohlmeyer, qui, par une méthode d'ionisation, admettait la limite extrême du spectre vers HR = 7 000 (2). Ce dernier utilisait des sources extrêmement faibles, équivalentes à 1 mgr. de radium-élément.

Nous avons groupé ces différents résultats dans le tableau suivant :

(1) L. Meitner, *Zts. f. Phys.*, t. 11, 1922, p. 35.
(2) Pohlmeyer, *Zts. f. Phys.*, t. 28, 1924, p. 216.

TABLEAU VI. — *Rayons β de grande vitesse du Th. B + C.*

YOVANOVITCH et d'ESPINE (appareil à déviation directe)			BLACK (appareil à foyer)		YOVANOVITCH et d'ESPINE (appareil à foyer)		L. MEITNER (appareil à déviation directe)		J. THIBAUD (appareil à déviation directe)		
HR	Observations	Energie $\times 10^3$ volts	HR	Observations	HR	Observations	HR	Observations	HR	Observations	Energie $\times 10^3$ volts
									54000 ?	Groupe extrêmement faible probable	15700
40000	Groupe très faible	11000							37200	Groupe très faible	10600
18000	Groupe faible	4900							16700	Groupe faible	4500
					Vers 13000	Fin fond continu très faible					
11000	Groupe faible	2800							10500	Groupe faible	2600
					10350	Raie très faible					
			10380	Raie très faible	10080	Raie d'intensité moyenne					
			10340	Raie faible							
			10080	Raie d'intensité moyenne	Vers 8600	Fin fond continu principal					
6800	Tête bande assez forte	1590			8300	Raie probable sur le fond continu	5460	Fin bande rapide			
5480	Doublet	1211	Vers 8900	Fin fond continu					6900		1600

Remarque. — Il est intéressant de constater l'existence de la raie HR = 8300 signalée par nous comme probable sur le fond continu dans cette région. En effet, Black signalait qu'il n'avait pas pu déceler des lignes dans cette région de fort fond continu, ou du moins, disait-il, s'il en existe, elles sont certainement très faibles. L'existence de la radiation γ de très haute énergie de 2 650 000 volts attribués par Black au Th D incite à supposer que le système de niveaux nucléaires proposé par lui jusqu'à 660 000 volts pourrait peut-être se prolonger jusqu'à cette radiation γ de haute énergie. Il serait donc du plus haut intérêt de pouvoir déceler plusieurs groupes de lignes dans la région de fond continu intense ; ces lignes permettraient peut-être, par les valeurs de l'énergie des rayons γ qu'on en pourrait déduire, de vérifier cette hypothèse.

On voit par là l'intérêt qui s'attache à l'étude de la région rapide du spectre du Th B + C, pour lequel, croyons-nous, il reste encore plusieurs découvertes à faire.

Quelques remarques générales sur l'ensemble de ces spectres magnétiques. — L'examen de l'ensemble de ces spectres magnétiques suggère deux remarques importantes :

1) L'existence de rayons β de grandes vitesses dans le spectre des corps radioactifs étudiés est d'un grand intérêt théorique, en nous montrant combien élevées sont les énergies qui sont mises en jeu lors des transformations radioactives : L'énergie de certains de ces rayons β est tout à fait du même ordre que celle des rayons α, qui s'élève à 8 825 000 volts pour les rayons α du thorium C.

Peut-être, comme le faisait remarquer Thibaud, faut-il voir dans ces rayons β très rapides les électrons de désintégration [1].

Peut-être aussi ces rayons β de grande vitesse ont-ils un

[1] J. THIBAUD, *Thèse*, Paris, p. 115.

rapport avec l'effet Compton ; ce point a été récemment discutée par Mme Curie.

La discussion de ces hypothèses sera reprise un peu plus loin, dans la partie réservée aux conclusions théoriques de mon travail.

2) Il est intéressant de remarquer également la grande intensité que les fonds continus présentent par rapport aux spectres de lignes. Il est généralement admis maintenant que les lignes émises dans les spectres β naturels sont d'origines secondaires et qu'elles sont dues aux rayons γ accompagnant la désintégration radioactive. L'interprétation de ces fonds continus est certainement moins aisée. Je reprendrai également plus loin la discussion de ce point important en étudiant l'intéressante hypothèse de L. Meitner qui avait donné comme explication possible du fond continu des spectres naturels la diffusion quantique du rayonnement γ.

(1) Mme Curie, *J. Phys.*, t. 5, 1926, p. 97.

TROISIÈME PARTIE

SUR LE RALENTISSEMENT DES RAYONS β PAR LA MATIÈRE

INTRODUCTION

1. — Le ralentissement des rayons β par la matière a déjà été étudié par plusieurs auteurs.

Danysz a principalement examiné ce ralentissement pour les rayons β du spectre naturel de Ra B + C (1). Il a admis que, pour un métal donné servant d'écran ralentisseur, la diminution du produit HR relatif à un groupe de rayons β était proportionnelle à l'épaisseur de l'écran, pour les épaisseurs faibles qu'il employait. Il a trouvé également, en opérant avec des écrans d'aluminium, de cuivre, d'argent, d'étain et d'or, que la nature de l'écran n'intervenait pas pour les valeurs du ralentissement. La masse superficielle de l'écran intervient seule.

Plus récemment, Thibaud a étudié le ralentissement des rayons β de la raie HR = 3020, due à la conversion des rayons γ de 610000 volts du RaC dans le niveau K du platine (2). Il a trouvé que la loi de diminution du produit HR était une fonction sensiblement linéaire de l'épaisseur x d'aluminium traversée jusque vers $x = 0{,}08$ mm., épaisseur au delà de laquelle la courbe semblait se relever plus rapidement.

(1) Thèse de doctorat, *Annales de Chimie physique*, s. VIII, t. 30, 1913, p. 189.

(2) *Journal de Physique*, t. 6 (octobre 1925), p. 334.

Le Professeur von Bayer a également étudié cette question et a obtenu des résultats analogues à ceux de Danysz (1).

J'ai moi-même examiné le ralentissement des rayons β pour quelques-unes des raies fortes de Ra B et de Th B.

Avec la raie très forte de Ra B (HR = 1 938), j'ai trouvé que la courbe qui représente la diminution de HR en fonction de l'épaisseur de l'écran est une droite, dans les limites de précision des mesures.

De même, la diminution de HR pour les raies fortes de Th B, HR = 1 398 et HR = 1 764, se répartit linéairement en fonction des épaisseurs croissantes d'écran.

Si l'on construit la courbe qui représente, en fonction de l'épaisseur, la perte d'énergie subie par le rayon β lors de sa traversée de l'écran, on trouve également une droite, pour le début du phénomène.

2. **Dispositif expérimental.** — J'ai opéré suivant la méthode habituelle du spectre magnétique des rayons et j'ai employé deux spectrographes : l'appareil à déviation directe et l'appareil à focalisation, en aluminium, déjà décrits précédemment.

On place sur une des moitiés des sources linéaires un mince écran ralentisseur en forme de gouttière, s'appliquant aussi exactement que possible sur la source. Une cloison verticale en aluminium placée au milieu de chaque appareil sépare la trajectoire des rayons ralentis de celle des rayons non ralentis qui inscrivent sur la plaque des raies témoins.

L'appareil à foyer donne plus de dispersion que l'appareil à déviation directe, mais les rayons β traversant la matière sont, en même temps que ralentis, diffusés si énergiquement que la raie ralentie devient rapidement floue et difficilement mesurable. La raie elle-même s'étale notablement. L'appa-

(1) Pour cause de maladie, il ne m'a pas été possible de me procurer ce travail.

reil à déviation directe donne beaucoup moins de dispersion, mais, du fait même de sa forme géométrique, la tête de la raie ralentie reste beaucoup plus nette, de sorte qu'on peut suivre le ralentissement des raies jusqu'à des épaisseurs d'écran plus grandes qu'avec l'appareil à foyer.

Lors de l'emploi d'ampoules de radon, comme sources de rayonnement, l'épaisseur des parois des ampoules était estimée par le parcours restant des rayons α de Ra C dans l'air, comme le faisait Danysz.

J'estime que la précision de ces résultats est de l'ordre de 10 o/o environ. Il peut paraître surprenant, au premier abord, que l'on n'ait pas plus d'exactitude dans ces mesures. Cela tient à ce que l'erreur porte, non sur les déviations absolues des rayons, mais sur la différence de déviations très voisines. De plus, comme je l'ai déjà dit, la diffusion subie par les rayons β gêne beaucoup les mesures en rendant peu nettes les impressions photographiques.

3. **Résultats expérimentaux.** — J'ai résumé dans le tableau I les résultats principaux de ralentissements obte-

TABLEAU I

Valeurs des points expérimentaux.

HR du groupe étudié	Δ (HR) pour 0,01 g : cm²	Auteur	$\frac{\Delta\ (HR)}{HR}$
1398 ThB	114	d'Espine (J.).	0,0815
1410 RaB	124	Danysz.	0,0879
1677 RaB	95	Danysz.	0,0566
1764 ThB	71	d'Espine (J.).	0,0402
1774 RaB	90	Danysz.	0,0507
1820 ThB	71	d'Espine (J.).	0,0390
1938 RaB	72	d'Espine (J.).	0,0371
1938 RaB	66	Danysz.	0,0340
2256 RaB	52	d'Espine (J.).	0,0230
2256 RaB	57	Danysz.	0,02526
2980 RaC	37	Danysz.	0,0124
3020 RaC secondaire. .	58,6	Thibaud.	0,01943
5904 RaC	44	Thibaud.	0,00745
5904 RaC	32	Danysz.	0,0054

nus par Danysz, par Thibaud et par moi-même. J'ai mis dans une colonne la valeur de la diminution du produit HR, soit Δ(HR), de chaque raie, rapportée à un écran de 0,01 g : cm². Dans une autre colonne, j'ai formé les rapports $\frac{\Delta(HR)}{HR}$. Les expériences d'après lesquelles j'ai calculé les valeurs que je donne pour le ralentissement de quelques raies fortes de Ra B et Th B ont été toutes effectuées avec des écrans d'aluminium. Pour la raie très forte HR = 1 938 de Ra B, j'ai aussi employé des écrans de cuivre, d'argent et d'or. D'après les résultats obtenus, il semble que seule compte la masse superficielle de l'écran sans qu'intervienne sa nature. Toutefois, les expériences sur ce premier point seraient à compléter. Je dois signaler également que c'est avec les écrans ralentisseurs en aluminium que j'ai obtenu les plus beaux clichés.

Si l'on construit, d'après les différents points obtenus dans le tableau I, la courbe de $\frac{\Delta(HR)}{HR}$ en fonction de HR, on obtient une courbe assez régulière (fig. 8), purement expérimentale, qui permet une interpolation de la valeur de ralentissement pour tous les HR.

J'ai construit cette courbe d'interpolation de la manière qui me paraissait la plus rationnelle, d'après le degré d'exactitude des différentes valeurs de ralentissement. C'est ainsi que j'ai fait passer cette courbe tout près du point obtenu pour la raie HR = 1 398 de Th B, pour laquelle j'ai pu obtenir quelques clichés de ralentissement particulièrement nets permettant de bonnes lectures pour les différences de déviation. De même, la courbe passe tout près du point calculé par J. Thibaud pour la raie secondaire HR = 3 020 de Ra C. Ce point doit être considéré comme très exact, car M. Thibaud a pu opérer avec un spectrographe à foyer permettant des mesures précises. Par contre, les valeurs de ralentissement correspondant à HR = 2 256 et HR = 2 980 sont beaucoup

moins exactes que les autres, c'est pourquoi la courbe d'interpolation passe assez en dehors de ces points.

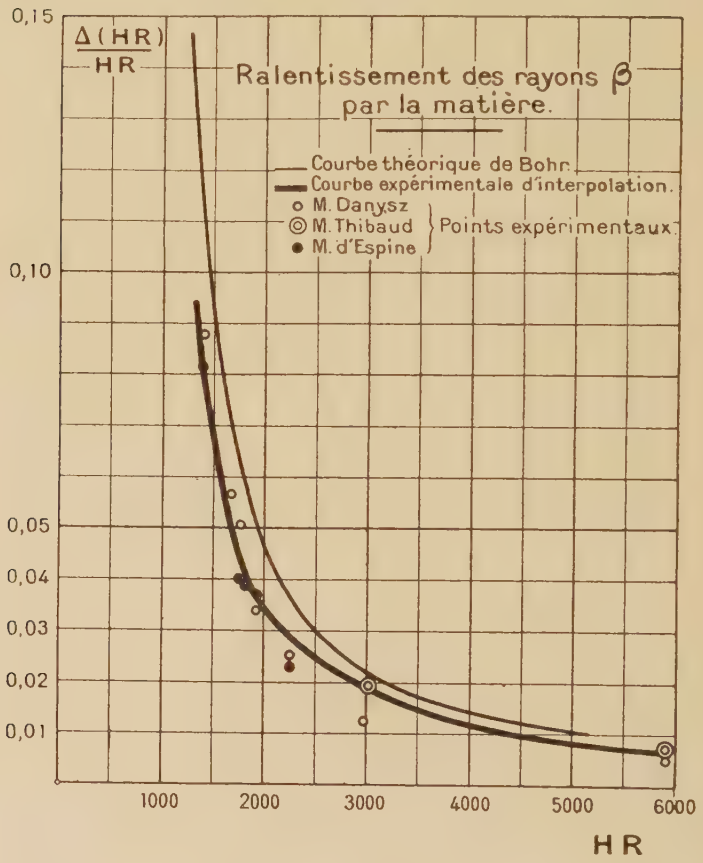


Fig. 8. — Courbe expérimentale d'interpolation.

Les valeurs les plus probables pour le ralentissement des différents rayons β sont portées, d'après cette courbe d'interpolation, dans le tableau II.

TABLEAU II

Valeurs expérimentales les plus probables d'après la courbe d'interpolation.

HR du groupe étudié	Δ (HR) pour 0,01 g : cm²	Δ (HR) / HR
1398 ThB.	116	0,0830
1410 RaB.	111	0,0787
1677 RaB.	86	0,0512
1764 ThB.	78	0,0442
1774 RaB.	78	0,0440
1820 ThB	75	0,0414
1938 RaB	70	0,0361
2256 RaB.	65	0,0288
2980 RaC.	57	0,0191
3010 RaC.	57	0,0189
3289 RaC.	53	0,0162
5904 RaC.	41	0,0069

Remarque. — Ces nombres sont légèrement différents de ceux que j'avais publiés précédemment (1). Cela tient à ce que depuis cette première publication, j'ai pu refaire quelques bonnes mesures de ralentissement qui ont amené de légères modifications pour certains chiffres.

J'ai procédé à une vérification de la courbe d'interpolation en prenant plusieurs spectres magnétiques avec une ampoule fine de radon sans employer d'écrans ralentisseurs. En effet, ces rayons β sont ralentis par les parois de verre de l'ampoule dont l'épaisseur peut être mesurée par le parcours restant des rayons α de Ra C dans l'air. En assimilant le verre de l'ampoule à l'aluminium comme le faisait Danysz, on pourra donc calculer, d'après le tableau II, quels devront être les nouveaux HR des différents groupes de rayons.

J'ai pu constater ainsi le bon accord de ces nombres du tableau II avec ceux obtenus directement par l'expérience.

(1) *C. R.*, séance de février 1926. T. CLXXXII, p. 458-460.

J'ai pu vérifier notamment la forme et la pente de la courbe d'interpolation.

Nota. — J'ai reproduit sur la planche II un cliché de spectre magnétique montrant le ralentissement des rayons β lents de Th B par un écran d'aluminium de 3,50 mg. : cm². On peut voir sur ce cliché la diffusion et l'élargissement subis par les raies ralenties.

4. Accord des résultats expérimentaux avec la théorie de Bohr. — La théorie de Bohr permet une interprétation du ralentissement des rayons β par la matière. En partant d'hypothèses simples, Bohr a calculé le ralentissement consécutif à la perte d'énergie subie par un électron traversant la matière lors de ses chocs avec les autres électrons des atomes (¹). Il a obtenu la formule suivante pour la diminution de HR d'un électron :

$$\Delta(\mathrm{HR}) = \frac{2\pi e^3 N \Delta x}{mc^2 \beta^3} \cdot \sum_{1}^{n} \left[\log \left(\frac{k^2 c^2 N n \Delta x}{4\pi \nu^2} \right) - \log \left(\frac{1 - \beta^2}{\beta^2} \right) - \beta^2 \right]$$

où m est la masse de l'électron ; e sa charge ; $\beta = \frac{v}{c}$ sa vitesse ; N le nombre d'atomes par unité de volume ; Δx, l'épaisseur de la matière traversée par l'électron ; ν, la fréquence de vibration des électrons de l'atome d'après la loi de Planck ; n, le nombre d'électrons contenus dans chaque atome ; k, une constante $= 1{,}123$.

Bohr a fait le calcul du ralentissement donné par cette formule dans le cas de l'aluminium en posant $n = 13$ et prenant la valeur $\frac{1}{n} \Sigma \log \nu = 39{,}0$.

Il a obtenu les valeurs suivantes du produit $\beta^3 \times \Delta(\mathrm{HR})$ en fonction de la vitesse β rapportées à un écran de 0,01 g : cm² :

(¹) Bohr, *Phil. Mag.*, t. 30, octobre 1915, p. 602, n° 178.

Rayons β lents du radium B + C.

f *e* *d* *c* *b* *a*

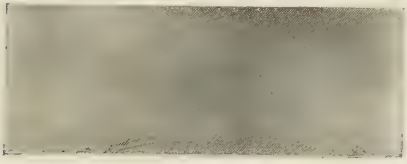
Cliché 1

Rayons β de Ra B + C.
(*Grand appareil à déviation directe*)
(Agrandissement).

a, raie centrale.
b, — forte de Ra C. . . HR = 2 980
c, — — de Ra B. . . HR = 2 256
d, — très forte de Ra B. . HR = 1 938
e, — — de Ra B. . HR = 1 677
f, — — de Ra B. . HR = 1 410

Clichés 2 et 3

Rayons β lents du radium B (appareil à foyer).

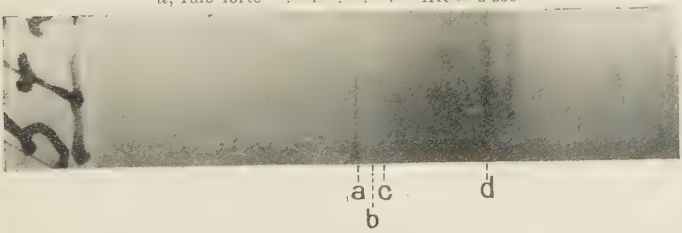


Notes : Cliché 2. — *Spectre photo-électrique avec radiateur de plomb* avec les deux raies secondaires du plomb de HR = 1 675 et HR = 1 942.

a *b* *c* *d*

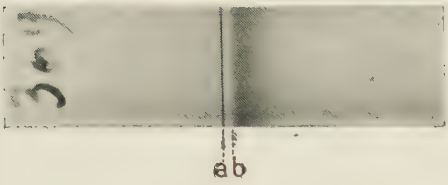
Cliché 3. — *Spectre naturel du radium B.*

a, raie forte. . . . . HR = 1 410
b, raie très forte . . . . HR = 1 677
c, raie très forte . . . . HR = 1 938
d, raie forte . . . . . HR = 2 256



Cliché 4. — *Rayons β de grande vitesse du radium B + C.*
(*Petit appareil à déviation directe*)
(Agrandissement).

a, raie centrale γ.
b, bande de rayons rapides . HR = de 27 000 à 15 000
c, tête de bande . . . . HR = 11 000.
d, raie très forte étalon . . HR = 1 938.



Cliché 1

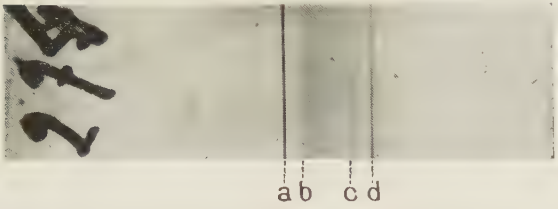
Rayons β du radium E.

Appareil à déviation directe (Agrandissement) *ab.*

a, raie centrale ; *b*, début de la bande continue principale.

Clichés 2 et 3

Ensemble du spectre des rayons β du thorium B + C.



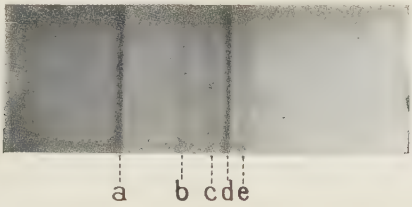
Cliché 2

Appareil à déviation directe (Agrandissement).

a, raie centrale α. *c* et *d*, raies très fortes du Th B.

b, région de fond continu intense,

Rayons β lents de Th B + C (Appareil à foyer).

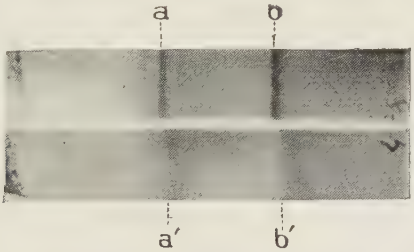


Cliché 3

a, raie très forte de Th B. $HR = 1\,398$ *d*, raie très forte de Th B. $HR = 1\,764$

b, — de Th C . . . . $HR = 1\,604$ *e*, — de Th B . . . . $HR = 1\,820$

c, — de Th B . . . . $HR = 1\,701$



Cliché 4

Ralentissement des rayons β du thorium B

(Cliché de spectre magnétique obtenu avec un appareil à foyer).

a = raie très forte du thorium B de $HR = 1\,764$ non ralentie.

a′ = la même raie ralentie.

b = raie très forte du thorium B de $HR = 1\,398$ non ralentie.

b′ = la même raie ralentie.

Nota. — J'ai reproduit sur la planche ci-contre un cliché de spectre magnétique montrant le ralentissement des rayons β lents de Th B par un écran d'aluminium de 3,50 mg : cm². On peut voir sur ce cliché la diffusion et l'élargissement subis par les raies ralenties.

β. . . .	0,6	0,7	0,8	0,90	0,95
$\beta^3\Delta(HR)$. . . .	40	41	42	44	46

En partant de ces valeurs, il est aisé de construire la courbe correspondante de $\frac{\Delta HR}{HR}$ en fonction de HR (voir la courbe en trait mixte de la fig. 8).

Il est intéressant de constater que cette courbe théorique a sensiblement la même allure que la courbe expérimentale obtenue par interpolation. On voit par là que les résultats expérimentaux sont en assez bon accord avec ceux de Bohr ; en effet, pour la raie HR = 3020 de Ra C, par exemple, la valeur du produit $\beta^3 \times \Delta(HR)$ est de 38,8 d'après les expériences de Thibaud, alors que la théorie prévoit 43,1 pour ce produit. Pour la raie HR = 1938, j'ai trouvé 30,6 pour le produit $\beta^3 \times \Delta(HR)$, alors que d'après la théorie on a 41,6.

Toutefois, il faut remarquer que les valeurs expérimentales de ralentissements se répartissent en des points situés tous systématiquement au-dessous de la courbe théorique et cela semble-t-il avec des écarts qui dépassent les limites d'erreur des expériences. Ce fait important a été confirmé par les résultats d'un récent travail de White et Millington [1] qui ont étudié à l'aide d'un dispositif expérimental très semblable au mien, le ralentissement des rayons β après leur passage à travers des écrans minces de mica, au lieu de l'aluminium employé, la comparaison des valeurs expérimentales obtenues par ces auteurs pour quelques-unes des raies très fortes du Ra B et du Ra C avec les valeurs expérimentales obtenues d'après ma courbe d'interpolation (voir tableau II) montre que le mica et l'aluminium sont approximativement équivalents :

[1] White et Millington, *Proc. Roy. Soc.*, séries A, vol. 120, 1928, p. 702. MM. White et Millington ont eu l'amabilité de m'adresser leur travail, je les en remercie très cordialement.

		HR =	1410	1677	1938
Δ(HR)	White et Millington dans le mica . .		105,5	89,2	78,0
	d'Espine dans l'aluminium. . . .		111	86	70

White et Millington constatent également à la fin de leur travail une légère divergence systématique, inexplicable par les erreurs expérimentales par rapport à la théorie de Bohr (1).

J'ai rassemblé dans le tableau III ci-dessous les valeurs théoriques qu'on obtient pour les Δ (HR) des différents groupes de rayons, calculées d'après la formule de Bohr, et je les ai comparées aux valeurs de ralentissement obtenues par la courbe d'interpolation expérimentale.

TABLEAU III

HR du groupe étudié	Δ (HR) d'après la courbe d'interpolation expérimentale	Δ (HR) d'après la formule théorique de Bohr
1398 ThB	116	157
1410 RaB.	111	149
1677 RaB.	86	118
1764 ThB.	78	109
1774 RaB.	78	108
1820 ThB.	75	106
1938 RaB.	70	98
2256 RaB.	65	84
2980 RaC.	57	66
3020 RaC secondaire . . .	57	65
3289 RaC.	53	62
5904 RaC.	41	

Il est difficile de dire dans quelle mesure la formule théorique de Bohr serait à modifier d'après les résultats expérimentaux. Pour résoudre cette question, il faudrait

(1) WHITE et MILLINGTON, *loc. cit.*, p. 723.

effectuer des mesures de ralentissements plus nombreuses et plus précises pour les groupes de rayons β étudiés. On pourrait, par exemple, reprendre des mesures de ralentissement pour les raies très fortes du radium B en employant comme source des ampoules minces de radon de forte activité et en utilisant un spectrographe à très grande dispersion pouvant utiliser des trajectoires de plus de 10 cm. de rayon.

CONCLUSIONS

L'examen des spectres magnétiques des rayons β qui ont été étudiés dans ce travail présente un ensemble de faits expérimentaux intéressants par les interprétations théoriques que l'on peut en faire dans le cadre de la théorie de Bohr sur la structure atomique.

Avant de conclure sur les résultats de mes expériences, en ce qui concerne le spectre de ligne, le fond continu et les rayons β de grande vitesse, je rappellerai très brièvement l'essentiel de la théorie de l'atome de Bohr ainsi que les théories proposées par d'autres auteurs pour l'explication des spectres de rayons β.

Schéma de l'atome de Bohr. — D'après Bohr, l'atome est considéré comme un système planétaire constitué par un noyau positif central de petites dimensions possédant la presque totalité de la masse gravifique de l'atome, autour duquel une série d'électrons chargés négativement, parcourant des orbites déterminées par l'attraction du noyau. Ces orbites sont en nombre limité et elles sont déterminées par les lois de la mécanique quantique.

Les atomes radioactifs, qui sont parmi les éléments à poids atomiques élevés, ont la propriété de se désintégrer spontanément pour une cause encore inconnue : leur noyau devient le siège d'une véritable explosion avec expulsion de particules α ou β et, dans la majorité des cas, émission d'un rayonnement magnétique γ.

Théories d'Ellis et de Lise Meitner. — Rutherford émit, un des premiers, l'hypothèse qu'une relation existait entre

l'émission des rayons β et celle des rayons γ qui se manifestent lors de la même transformation radioactive. Les théories les plus récentes sur l'émission des radiations des corps radioactifs sont celles d'Ellis et de Lise Meitner. Je les résumerai ici très brièvement (1) :

D'après Ellis, le spectre de rayons β d'un radio-élément, peut être divisé en deux parties : le spectre de lignes et le spectre continu, qu'il considère comme phénomène principal.

Pour Ellis, le spectre de lignes est d'origine entièrement secondaire ; lors de la désintégration radioactive, le noyau émettrait diverses radiations γ monochromatiques qui se convertiraient en rayons β par choc sur les électrons périphériques, suivant la loi photo-électrique d'Einstein.

$$E \text{ (énergie de l'électron)} = h\nu - W$$

(où $h\nu$ est l'énergie du rayon γ excitateur et W le travail d'extraction du niveau). Ellis interprète le fond continu qui accompagne les spectres de lignes comme provenant des électrons de désintégration proprement dits expulsés par le noyau avec des vitesses réparties entre des limites assez larges.

Pour cet auteur, l'émission de rayons γ primaires aurait lieu *avant* l'émission des électrons nucléaires, de telle sorte que le spectre de ligne serait caractéristique de l'atome non transformé.

De son côté, Lise Meitner établit tout d'abord une analogie entre les transformations radioactives α et les transformations β, en montrant que les deux peuvent être liées à une émission γ nucléaire, l'émission, d'après cet auteur, serait précédée par l'explosion de la particule α ou β. Dans ce cas, le spectre de lignes serait caractéristique de l'atome transformé et le fond continu serait dû à la dégradation du quantum γ pareffet Compton.

(1) Pour avoir l'exposé détaillé de ces théories, voir J. Thibaud, *Thèse de Doctorat*, p. 103.

Théorie de J. Thibaud sur la désintégration radioactive. — Après avoir étudié d'une façon très approfondie les spectres photoélectriques des familles du radium et du thorium, J. Thibaud (1) attribue, comme Ellis, une origine secondaire à la plus grande partie du spectre de lignes, mais, au contraire d'Ellis, et se rapprochant par là du point de vue de Lise Meitner, il attribue la formation du fond continu, qui se manifeste d'après lui principalement à la suite des lignes les plus intenses du spectre, au processus de dégradation du quantum γ par effet Compton et considère l'émission de rayons γ comme postérieure à l'émission de la particule.

D'après Thibaud, la désintégration radioactive se présenterait donc de la façon suivante : tout d'abord expulsion d'une particule α ou β très rapide par le noyau ; il en résulte une certaine perturbation dans la structure du noyau, puis un réarrangement des constituants nucléaires avec passage d'électrons de niveaux nucléaires d'énergie moindre à des niveaux nucléaires d'énergie supérieure, et, par conséquent, émission d'une série de rayons γ suivant les lois du rayonnement quantique. Ces rayons γ donneront l'émission du spectre de lignes β par effet photoélectrique sur les électrons périphériques de l'atome transformé. Enfin, un certain nombre de rayons γ diffusés par effet Compton avec dégradation quantique, dans les couches périphériques des atomes et réabsorbés photoélectriquement donnent naissance au fond continu. Les rayons β primaires proprement dits (électrons nucléaires de désintégration), constitueraient la partie extrême du spectre vers les grandes vitesses.

Discussion de ces théories. Essai d'interprétation du spectre magnétique β des corps radioactifs. — Après avoir donné ce bref résumé des principales théories actuelles sur le rayonnement β des corps radioactifs et le mécanisme de la désin-

(1) J. Thibaud, *Thèse de Doctorat*, pp. 102-116.

tégration, je reprendrai l'examen du spectre magnétique de rayons β tel que je l'ai étudié dans le présent travail.

Trois phénomènes principaux apparaissent dans l'étude des spectres de rayons β. Ces trois phénomènes apparaissent pour tous les corps radioactifs étudiés dans ce travail, radium B + C, mésothorium 2 et thorium B + C. Seul le radium E ne possède pas de spectre de lignes et l'émission β de ce corps consiste uniquement en un fond continu intense à limites de vitesses assez étendues, accompagné d'un rayonnement β très rapide.

En ce qui concerne l'émission du spectre de lignes, je partage l'opinion d'Ellis et de Thibaud, c'est-à-dire que toutes les lignes importantes de ces spectres sont d'origine secondaire, dues à la conversion de rayons γ dans les diverses orbites électroniques suivant la loi photoélectrique d'Einstein.

D. K. Yovanovitch et moi, nous avons montré que l'effet Compton qui, d'après Thibaud et L. Meitner, explique la formation du fond continu, peut également expliquer l'existence des rayons β de très grande vitesse (1). Dans un récent travail (2), Mme Curie a étudié d'une façon très approfondie l'aspect que doivent présenter des fonds continus ou des bandes continues dans les spectres β obtenus soit à l'appareil direct, soit à l'appareil à foyer, lorsqu'ils sont dus à l'effet Compton. Les courbes étudiées par Mme Curie montrent qu'il doit y avoir nécessairement accumulation d'énergie au début de la bande pour l'énergie maximum de celle-ci. Or, l'étude photométrique de la bande principale du radium E faite par A. Proca au laboratoire Curie montre, comme nous l'avons vu, une frange régulière jusqu'à un maximum situé vers 400 000 volts, puis une décroissance et un évanouissement vers 100 000 volts, résultats vérifiés, d'ailleurs, par le récent travail d'Ellis et Wooster. Il n'y a

(1) Yovanovitch. *Thèse Doctorat.*
(2) Mme Curie. *J. de Phys.* et *le Rad.*, 1926, p. 97.

donc pas accord avec une interprétation par effet Compton, rendue invraisemblable, d'ailleurs, par la très faible quantité de rayons γ émis par le Ra E.

Il semble donc que dans ce cas, suivant l'opinion d'Ellis, le fond continu est dû à l'émission des électrons nucléaires de désintégration du radium E, sortant de l'atome avec des vitesses variant entre des limites étendues.

Si maintenant on examine attentivement certains clichés originaux des spectres de radium B + C obtenus avec le grand appareil à déviation directe, et qui sont particulièrement appropriés à donner l'aspect fidèle de l'ensemble du fond continu, on voit que *l'aspect général de la distribution d'intensité du fond continu dans le spectre du radium* B + C *correspond assez exactement à l'aspect du fond continu du radium* E, *c'est-à-dire une bande principale commençant vers 2.800.000 volts, croissant progressivement jusqu'à un maximum mal déterminé pour décroître ensuite régulièrement vers les régions de moindre vitesse. Sur cette distribution viennent se superposer certains effets dus à la dégradation par effet Compton, principalement pour les raies très fortes du spectre de lignes, exactement comme Thibaud l'a remarqué pour ses spectres photoélectriques.* L'examen des clichés des spectres naturels du radium B + C obtenus à l'appareil à foyer m'a apporté également confirmation de cette opinion, il y a donc, selon moi, dans la formation du fond continu, superposition de deux phénomènes : émission d'électrons nucléaires de désintégration entre des limites de vitesses très étendues et dégradation quantique du rayonnement γ par effet Compton à la suite des lignes très fortes du spectre.

L'examen de l'ensemble du spectre naturel du mésothorium 2 obtenu à l'appareil direct montre à peu près le même aspect sur les clichés que j'ai examinés : le fond continu principal débute vers HR = 6 800, c'est-à-dire vers $15{,}9 \times 10^5$ volts, augmente d'intensité jusque vers un maximum

mal délimité et décroît ensuite progressivement, persistant jusque vers 80 000 volts.

Pour le Th B + C, il en est de même, avec manifestation des phénomènes de dégradation quantique.

A ce sujet, je rappellerai encore ici la remarque faite par Mme Curie dans son travail, disant que « les mesures récentes de la charge des rayons β du Ra B et du Ra C ont fait connaître la distribution du spectre continu de ces corps en fonction du produit HR, et que le nombre total de rayons correspond à l'émission d'un peu plus qu'un électron par atome détruit, l'excès étant de 10 à 25 o/o ; qu'ainsi il est possible que ce spectre continu comprenne les électrons primaires accompagnés de photo-électrons et d'électrons de choc » (1).

Rayons β de très grande vitesse. — Au sujet des rayons β de très grande vitesse, il est difficile de se prononcer actuellement sur leur origine, étant donnée la grande faiblesse des impressions photographiques obtenues. Par exemple, pour le Mes. Th2, la distribution d'intensité obtenue semblerait favorable à une interprétation par effet Compton (2). Par contre, la bande de rayons β très rapides du Ra B + C obtenue sur le meilleur cliché des radiations rapides ne semble pas présenter l'aspect dû à la dégradation quantique du rayonnement γ. Il en est de même pour le groupe très rapide de 10 600 000 volts du Th B + C que Thibaud a pu photométrer.

Il est impossible de se prononcer actuellement d'une façon absolue sur ce point. Je signalerai simplement encore que l'existence de rayons γ de très haute énergie, dépassant 6 000 000 volts, a été signalée par Kolhœrster (3) et que de telles radiations γ sont du même ordre d'énergie que les rayons β de grande vitesse cités dans ce travail.

(1) Mme Curie, *loc. cit.*, p. 107.
(2) Yovanovitch, *Thèse de doctorat.*
(3) Voir à ce propos le travail de Wolff, *Phys. Zeit.*, 1926, p. 641.

Mécanisme d'une transformation radio-active. — Il est évidemment difficile de se faire une idée exacte, dans l'état actuel de nos connaissances, sur le mécanisme d'une transformation radio-active par émission de rayons β. Je pense, toutefois, que le fait initial est l'expulsion hors du noyau d'un électron qui peut, dans certains cas, atteindre une très grande énergie ; ces électrons nucléaires de désintégration sortiraient de l'atome avec des vitesses comprises entre des limites extrêmement étendues, la majeure partie de cette émission constituant le fonds continu principal des corps radio-actifs. Lors du réarrangement de la structure nucléaire, il y aurait émission de différents rayons γ donnant d'une part le spectre de lignes par choc sur les électrons périphériques de l'atome transformé, d'autre part par effet Compton, des effets se superposant, dans certains cas, au fond continu.

Remarque à propos du ralentissement des rayons β par la matière. — Comme nous l'avons vu, le ralentissement prévu pour les rayons β par la formule de Bohr est un peu trop grand. La formule calculée par Bohr à partir d'hypothèses simples se rapporte à la perte d'énergie de l'électron lors de ses chocs avec les électrons périphériques des atomes. Tout se passe donc comme si le nombre des électrons périphériques prévus par Bohr et par conséquent le nombre de chocs subis par l'électron était un peu trop grand. Des résultats expérimentaux plus précis permettraient sans doute de modifier utilement la formule de Bohr pour qu'elle puisse rendre compte du phénomène. Peut-être, par exemple, en la multipliant par un facteur constant compris entre 0,7 et 0,9.

Remarque générale. — Dans les conclusions de ce travail, j'ai présenté quelques simples remarques et suggestions basées sur l'examen des faits expérimentaux en relation avec les théories les plus actuelles sur l'émission des rayons β par les corps radio-actifs. J'espère que ces quelques pages auront

réussi à montrer le grand intérêt théorique que présentent ces questions, en révélant les prodigieuses énergies qui sont mises en jeu lors des transformations radio-actives, en donnant quelques aperçus et en suggérant quelques hypothèses sur la structure intime de ce monde mystérieux l'atome, et de son noyau plus mystérieux encore.

Je voudrais, en terminant, adresser à Mme Curie l'hommage de ma profonde reconnaissance, à Mme Joliot-Curie, à M. Debierne et à M. Holweck mes plus vifs remercîments pour l'affectueux intérêt qu'ils ont porté à mon travail, et les précieux conseils qu'ils m'ont donnés ; au personnel de l'atelier l'expression de ma gratitude pour l'habileté déployée dans la construction de mes appareils.

Je voudrais surtout témoigner ici mon attachement au laboratoire Curie tout entier. J'y ai rencontré de véritables amis, et parmi eux tout particulièrement D. K. Yovanovitch, qui m'a si affectueusement aidé dans mon travail, et m'a fourni de puissantes sources radio-actives.

Je voudrais enfin exprimer le regret profond que des raisons de santé aient interrompu le cours de mes recherches dans une atmosphère aussi sympathique, et souhaiter de pouvoir bientôt le reprendre pour compléter et étendre encore mes recherches sur les rayons β [1].

[1] En raison de l'absence forcée de mon camarade et ami Jean d'Espine, due aux raisons de santé auxquelles il fait allusion ci-dessus, je me suis chargé de la mise au point de son manuscrit et des corrections de ses épreuves, à Paris. J'espère avoir suivi fidèlement sa pensée en effectuant quelques changements dans le texte original. La nécessité de publier rapidement un travail qui était terminé depuis longtemps déjà, m'a seule, amené à me substituer à mon ami pour ces légères modifications ou suppressions, et je le prie de me donner, à ce sujet, toute son indulgence.

Georges FOURNIER, *docteur ès sciences.*

P. S. — La mort de Jean d'Espine est survenue à Leysin quelques jours à peine après que j'écrivais ces lignes. La lecture

du présent ouvrage montrera combien grande est cette perte, que nous avons tous profondément ressentie. G. F.

Remarque. — Nous aurions voulu reproduire ici un ou deux clichés des rayons β rapides du Th B + C obtenus à l'appareil direct, dont l'un, notamment, très bon sur lequel les groupes rapides étaient nettement visibles. Malheureusement, ayant quitté le laboratoire Curie depuis longtemps, il ne nous a pas été possible, à notre très grand regret, de retrouver ce cliché que nous avions obtenu il y a plusieurs années.